

VERHANDLUNGEN

DER

GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE.

73. VERSAMMLUNG ZU HAMBURG.

22.—28. SEPTEMBER 1901.

HERAUSGEGEBEN IM AUFTRAGE DES VORSTANDES
UND DER GESCHÄFTSFÜHRER

VON

ALBERT WANGERIN.

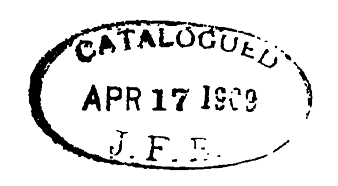
ERSTER THEIL.

Die allgemeinen Sitzungen, die Gesammtsitzung beider Hauptgruppen und die gemeinschaftlichen Sitzungen der naturwissenschaftlichen und der medicinischen Hauptgruppe.

(Mit 5 Abbildungen im Text.)



LEIPZIG,
VERLAG VON F. C. W. VOGEL.
1901.


CATALOGUED
APR 17 1909
J. F. B.


TON MEDICAL

INHALT.

Bericht über die allgemeinen Sitzungen.

Vorträge in den allgemeinen Sitzungen.

Bericht über die Gesammtsitzung der beiden Hauptgruppen.

Bericht über die gemeinschaftliche Sitzung der naturwissenschaftlichen Hauptgruppe.

Bericht über die gemeinschaftliche Sitzung der medicinischen Hauptgruppe.

BERICHT

ÜBER DIE

ALLGEMEINEN SITZUNGEN.

73. Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Aerzte in Hamburg 1901.

I. Allgemeine Sitzung.

Montag, den 23. September, Vormittags 10 Uhr.

Die Sitzung, die, ebenso wie die II. allgemeine Sitzung, im grossen Saale des Concerthauses Hamburg stattfand, wurde von dem ersten Geschäftsführer, Herrn Professor Dr. VOLLER-Hamburg, mit folgender Ansprache eröffnet:

Hochansehnliche Festversammlung!
Meine geehrten Damen und Herren!

Indem ich die mir gewordene Pflicht erfülle, die 73. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu eröffnen, rufe ich Ihnen Allen, die Sie aus der Ferne zu uns gekommen sind, ein herzliches „Willkommen“ zu. Willkommen in Hamburg, dem uralten Sitz deutscher Cultur an den Nordgrenzen des Reiches, willkommen zu ernster Arbeit, aber auch zu freudigem Verkehr!

Als im vorigen Jahre zu Aachen in der Versammlung der Gesellschaftsmitglieder beschlossen wurde, in diesem Jahre die Schritte nach Hamburg zu lenken, da übertrugen Sie uns, meine geehrten Herren, ein Amt, das uns nicht ganz ungewohnt war. Denn schon zweimal im Laufe der 79 Jahre, seitdem die Gesellschaft deutscher Naturforscher und Aerzte besteht, ist sie dem Rufe Hamburgs gefolgt, das erste Mal im Jahre 1830, kurz nach der Begründung, das andere Mal im Jahre 1876. Von jener ersten Versammlung im Jahre 1830 werden kaum noch Männer leben, die uns berichten könnten von dem Zustand der Wissenschaft in Hamburg oder überhaupt in jener Zeit. Und doch lenkt sich unser Blick unwillkürlich auf jene so weit hinter uns liegende Epoche, der Blick, der da sucht den Zusammenhang zu ergründen der Wissenschaft der alten und neuen Zeit. Wenn wir diese 71 Jahre überblicken, so ist in der That ein gewaltiger Fortschritt zu bemerken. Damals war noch die Epoche der Wissenschaft, in welcher die Einzel-

Arbeit vor allen Dingen und fast ausschliesslich zu leisten war auf jedem der vielen Gebiete der Naturwissenschaften und der Medicin; es war noch die Zeit, in welcher das Material gesammelt werden musste, um innerhalb der einzelnen Disciplinen den Aufbau der Wissenschaft ermöglichen zu können. Noch war die Zeit nicht reif, um umfassende, die Einzelgebiete verbindende Theorien zu schaffen, wie es heutigen Tages bis zu einem gewissen Grade möglich geworden ist. Heutzutage werden wir versuchen müssen und haben bereits bis jetzt mit Erfolg versucht, ganze Gebiete, die scheinbar weit aus einander liegen, von deren innerem Zusammenhange unsere Vorgänger nichts Sicheres wussten, unter gemeinsamen Gesichtspunkten zu betrachten. Das ist der grosse Fortschritt, der sich vielleicht am knappsten fassen lässt in die beiden Schlagworte: Energetik auf dem Gesammtgebiete der Wissenschaft und Entwicklungslehre auf den besonderen Gebieten der biologischen Disciplinen. Die Männer, deren Namen uns heute so vertraut sind, ein Faraday und Maxwell, ein Rob. von Mayer und Helmholtz, ein Darwin, Virchow, Heinr. Hertz und so viele Andere — ich kann sie ja nicht alle nennen —, die Träger dieser Namen waren damals noch unbekannt. So ist es wohl nicht zu bezweifeln: wenn die hervorragendsten Gelehrten jener Zeit, die unter den 242 Theilnehmern der ersten Hamburgischen Naturforscherversammlung im Jahre 1830 genannt wurden, z. B. ein Oerstedt, der Entdecker des Elektromagnetismus, ein Berzelius, der geniale Chemiker jener Epoche, ein Oken, der begeisterte Arzt und Zoologe, heute unser Verhandlungsprogramm lesen könnten —, sie würden fast verständnisslos stehen vor den angekündigten Themen: Energetik, Ionen und Elektronen, Strahlen elektrischer Kraft, Schutzstoffe des Blutes, Descendenz-Theorien u. s. w. — genau so verständnisslos, meine hochgeehrten Anwesenden, wie wir stehen würden vor einem Programm, das etwa nach weiteren 70 Jahren einer Naturforscher- und Aerzte-Versammlung vorliegen wird. Es wäre aber eines Naturforschers sehr unwürdig, sich in der Freude über so viel neu gewonnene Erkenntniss in die Brust zu werfen, wie herrlich weit man es gebracht habe! Nein, meine Damen und Herren, nicht herabsehen auf vergangene Zeiten und nicht muthlos werden vor dem, was noch erreicht werden muss! Wir Alle wissen, dass wir auf den Schultern unserer Vorgänger stehen, bauen auf den Fundamenten Jener, wie unsere Nachkommen bauen werden auf denen, die wir ihnen geben.

Ein Blick auf die andere Hamburger Versammlung vom Jahre 1876 zeigt, das inzwischen die Erkenntniss gewachsen, das Thatsachenmaterial ausserordentlich vermehrt worden war. Geändert hatte sich aber inzwischen auch Anderes. Aus dem vielfach zerstückelten deutschen Bundesstaat des Jahres 1830 war nach der grossen Katastrophe, die der Geschichte Europas eine neue Wendung gab, ein einiges Deutsches Reich hervorgegangen, worin Kunst und Wissenschaften fröhlich empor-

blühten. Aber über der Arbeit und den Hoffnungen der ersten Jahrzehnte des neuen Reiches schwebte die ernste Sorge vor einem jähen Ausbruch des Völkerhasses, der aus dem grossen Kriege erwachsen war. Fast schien die Erneuerung des furchtbaren Kampfes unvermeidlich! Und doch, wie so ganz anders hat sich die Entwicklung gestaltet! Langsam, aber sicher füllte sich die tiefe Kluft, die jener Krieg gerissen! Aus dem zertretenen Boden wachsen allmählich wieder die blühenden Keime der Hoffnung empor zu gemeinsamer Arbeit der europäischen Culturvölker, zu gemeinsamer Arbeit an den grossen Zielen der Wissenschaft, die erst dadurch der ganzen Menschheit reiche Frucht bringen wird! Dass es so geworden, dass mehr und mehr wieder alle Culturvölker in friedlicher Thätigkeit mit einander arbeiten und schaffen konnten, ungestört von grossen Kriegswettern, dass die Wolken sich allmählich verzogen haben, das haben wir zu verdanken in erster Linie den festen, ernsten Männern, die unser Reich geschaffen hatten. Allmählich haben dann die Leidenschaften begonnen, sich zu beruhigen, allmählich ist in die Gemüther das Verlangen nach friedlicher Culturarbeit zurückgekehrt. Und seit 13 Jahren steht an der Spitze unseres Volkes der grosse und hervorragende Mann, der Förderer aller Wissenschaften, der Mann, der in der Hand das Schwert zur Vertheidigung des Vaterlandes festhält und die Augen nicht schliesst auf seinem hohen Posten, der aber auf der anderen Seite allen Bestrebungen menschlicher Cultur das wärmste Interesse entgegenbringt! So glaube ich, meine verehrten Damen und Herren, wir können unsere Arbeit in Hamburg nicht besser beginnen, als indem wir unseres Kaisers gedenken, und so fordere ich Sie auf, meine Damen und Herren, lassen Sie uns ein Hoch ausbringen auf Seine Majestät Kaiser Wilhelm II.! Seine Majestät der Kaiser Wilhelm II. lebe hoch, hoch, hoch!

(Die Versammlung erhob sich und stimmte begeistert in diesen Ruf ein.)

Nunmehr erkläre ich die 73. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte für eröffnet.

Hierauf erhob sich der zweite Geschäftsführer, Herr Medicinalrath Dr. Reincke-Hamburg:

Meine Damen und Herren!

Namens der Geschäftsführung habe ich Sie zu bitten, dass wir heute, wie alljährlich bei Eröffnung unserer Versammlungen, von den Gefühlen, die Sie soeben durch ein Hoch haben zum Ausdruck gelangen lassen, auch in einem Telegramm Sr. M. dem Kaiser Mittheilung machen. Die Depesche lautet:

An Seine Majestät den Kaiser.

Berlin.

Die in Hamburg zur Eröffnungsfeier versammelten Theilnehmer der 73. Versammlung deutscher Natur-

forscher und Aerzte senden Ew. Kaiserlichen Majestät, dem kraftvollen Beschützer des Friedens und der Ehre des Vaterlandes, dem verständnissvollen Schirmherrn und Förderer von Kunst und Wissenschaft, ehrerbietige und begeisterte Huldigung.

Die Geschäftsführung:
Professor Dr. Voller,
Medicinalrath Dr. Reincke.

Ich darf wohl annehmen, dass alle Herren damit einverstanden sind.

(Zustimmung.)

Auf dieses Telegramm ist am 25. September folgende Antwort Se. Majestät eingelaufen und auf dem an jenem Tage stattfindenden Festmahle verlesen worden.

Rominten, 25. 9.

Geschäftsführung der 73. Versammlung
deutscher Naturforscher und Aerzte
Hamburg.

Seine Majestät der Kaiser und König lassen den Theilnehmern der 73. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte für den telegraphischen Huldigungsgruss vielmals danken und wünschen reiche Frucht den Arbeiten der Versammlung.

Auf Allerhöchsten Befehl
v. Lucanus.

Nach Absendung des Telegramms an Se. Majestät ergriff Se. Magnificenz Herr Bürgermeister Dr. Hachmann das Wort zur Begrüssung der Versammlung.

Meine hochgeehrten Damen und Herren!

Der Senat hat mich beauftragt, bei Beginn der Berathungen der 73. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte dieser Versammlung ein Wort herzlichster Begrüssung und den Wunsch eines erfolgreichen Verlaufes der Vorträge und Discussionen zum Ausdruck zu bringen. Auch Denjenigen, welche als Laien ausserhalb des unermesslichen Kreises der Naturforschung stehen, ist es unverborgen geblieben, dass die auf diesem Gebiete menschlicher Lebensbethätigung erzielten Wandlungen so grosse sind, dass so rapide Fortschritte in den letzten Jahrzehnten sich vollzogen haben, wie auf keinem anderen Felde. Zahllos und vielfach ganz neue Bahnen eröffnend, haben in rascher Entwicklung grosse Entdeckungen klar fliessende Erkenntnissquellen zur Geltung gebracht,

zu neuen Prämissen fortschreitend und aus diesen neuen Prämissen immer neue Schlussresultate gestaltend. Der Herr Vorredner hat in seinem knapp skizzirten Vortrage diese Thatsache ausgeführt, und wenn sein Ueberblick auf der einen Seite den Eindruck von der Unendlichkeit dessen, was die uns umgebende Natur darbietet, neu belebt, so darf uns auf der anderen Seite die Gewissheit erheben, dass auch der menschliche Geist, die wissenschaftliche Erkenntnissfähigkeit die Grenze ihrer Selbstbescheidung immer weiter hinausschieben kann, wachsend mit ihren grösseren Zwecken. Aufs Neue wollen Sie, meine Herren, auch bei dieser Tagung in einer feingegliederten Arbeitseintheilung den heutigen Stand Ihrer Wissenschaften durch einen Vergleich ihrer Aufgaben und der zur Lösung dieser Aufgaben gegebenen Mittel erörtern. Mit grosser Freude hat Hamburg von Ihrer Absicht Kunde erhalten, den in früheren Jahren, 1830 und 1876, hier abgehaltenen Versammlungen in diesem Jahre die dritte in unserer Stadt folgen lassen zu wollen. Wir reihen diese Versammlung den grossen und glänzenden Tagen unserer Geschichte ein, und von ganzem Herzen, meine Herren, heisse ich die deutschen Naturforscher und Aerzte und die, welche aus fremden Ländern zur deutschen Wissenschaft stehen wollen, auf diesem Boden willkommen. Als Sie diesen Platz zu Ihrem diesjährigen Versammlungsorte auswählten, da wussten Sie, dass Ihren Berathungen der glänzende Hintergrund einer Universität oder eines Fürstenhofes hier nicht geboten werden konnte, aber Sie wussten, so hoffe ich, auch, dass Hamburg, wenn es auch nicht den Anspruch erheben kann, sich ein wissenschaftliches Centrum im Vaterlande zu nennen, doch einen reichen Kranz ausgezeichneter Gelehrter, gerade auf Ihrem Gebiete, birgt, einflussreich genug, um in der Gesammtbevölkerung die Erkenntniss von der Bedeutung und dem Segen Ihrer Lebensarbeit zu verbreiten und dieser Erkenntniss den Boden zu bereiten. Und neben diesen Männern haben die Thatsachen auf diese Ziele hingewirkt. Die Fertigstellung einer ganzen Reihe von grossen hygienischen Factoren und die unmittelbare Ersichtlichkeit ihrer segensreichen Einwirkung auf die Sterbeziffer und Krankheitsziffer musste wohl die Zweifler zum Schweigen bringen, und Niemand hält heute mit dem Bekenntniss zurück, dass die rasche Entwicklung unserer Stadt und die durch dieselbe bedingte wirthschaftliche und technische Kraftanspannung zu lange die Ausgestaltung entsprechender hygienischer Einrichtungen in den Hintergrund gedrängt hatte. Aber, darf ich hinzufügen, nachdem einmal erkannt war, wo es fehlte — und auch zu dieser Erkenntniss haben zumeist die Arbeiten Ihrer Wissenschaft in den letzten Jahrzehnten das Material geliefert — ich sage: als erkannt war, wo es fehlte, da haben wir kräftig die Hände gerührt. Die Festschrift, meine Herren, giebt Ihnen eingehend Auskunft über alle in dieses Gebiet einschlagenden Einrichtungen, deren Hamburg sich heute erfreut, über den ärztlichen und hygienischen Dienst in Vor-

hafen, Häfen und Stadt und über die Krankenanstalten und wissenschaftlichen Institute, Lehr- und Schausammlungen. Mit Spannung, aber auch, lassen Sie mich hinzufügen, mit gutem Zutrauen sehen wir Ihrem Richterspruche entgegen, ob unsere hygienischen Zurüstungen sich zu einiger Bedeutung und Höhe aufgeschwungen haben. Das äussere Bild unserer Stadt ist einem raschen Wechsel noch immer unterworfen und wird es auf absehbare Zeit bleiben. Bevölkerungszuwachs und Verkehrsbedürfniss machen sich überall geltend. Alles fliesst. Aber eins, meine Herren, ist uns geblieben, wie es die Aelteren unter Ihnen vor 25 Jahren haben beobachten können, und wie es unserem Nachwuchs aufrecht erhalten bleiben möge, das ist das einträchtige Zueinanderstehen Aller, die am Gesammtwohl unseres Gemeinwesens zur Mitarbeit berufen sind. Die vielhundertjährige Tradition der Selbstverwaltung hält in uns das Solidaritätsgefühl und das Verantwortlichkeitsbewusstsein für Alles, was geschieht und unterbleibt, lebendig. Die Ehre des Einzelnen findet ihr Echo in der ganzen Stadt, und die Ehre der Stadt lässt in jedem Einzelnen das Herz höher schlagen. So weiss ich gewiss, dass die kurze Begrüssung, welche ich, meine Damen und Herren, an Sie zu richten hiermit die Ehre gehabt habe, obwohl sie erfolgt im Auftrage des Senats, doch von Ihnen aufgenommen werden wird und von mir gegeben werden darf als eine Begrüssung, die Ihnen von der gesammten Bevölkerung entgegentönt. Das ist der Sinn, in dem ich Ihnen herzlich zurufe: Seien Sie willkommen in Hamburg! (Bravo.)

Weiter sprach im Namen der wissenschaftlichen Vereine Hamburgs der Wirkliche Geheime Admiralitätsrath Professor Dr. G. VON NEUMAYER.

Hochansehnliche Versammlung,
geehrte Damen und Herren!

Es ist mir der ehrenvolle Auftrag und die Auszeichnung zu Theil geworden, die Mitglieder der 73. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte im Namen der zahlreichen naturwissenschaftlichen und ärztlichen Vereine und Gesellschaften Hamburgs, im Namen der hier bestehenden wissenschaftlichen Institute und Anstalten, staatlichen und privaten Charakters, zu begrüssen. Indem ich mich des mir ertheilten Mandates entledige, möchte ich von den Worten ausgehen, die der Vorsitzende der 49. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Hamburg vor nun 25 Jahren in seiner Eröffnungsrede sprach. Der unvergessliche Bürgermeister KIRCHENPAUER sagte damals in seiner Rede, von den Hansestädten sprechend:

„So dürfen die alten Ausgangs- und Mittelpunkte des Welthandels immerhin hoffen, auch den Männern der Wissenschaft manches Anziehende bieten zu können, wenn auch in diesen

unseren Städten das wissenschaftliche Streben, weniger beachtet, mehr im Verborgenen wirkt und auch im langen Laufe der Geschichte nur von Zeit zu Zeit einen hellen Glanz hinausgestrahlt hat".

Diese in edler Bescheidenheit, die ja dem Sprecher in hohem Maasse eigen war und ihn zierte, gesprochenen Worte finden in mancher Hinsicht wohl auch auf die Gegenwart eine Anwendung, aber doch nur in mancher Hinsicht, denn ein mächtiger Wandel der Dinge hat sich in unserem Hamburg während des verflossenen Vierteljahrhunderts vollzogen. Nicht nur, dass durch den völligen Eintritt Hamburgs in den Wirthschaftskreis unseres deutschen Vaterlandes Handel und Schiffahrt, Industrie und Technik einen unerhörten, nie geahnten Aufschwung erfahren haben, erblühte auch das geistige und wissenschaftliche Leben zu hellem Glanze, und zwar nicht mehr von Zeit zu Zeit, sondern in festgegliedertem Organismus, einen integrirenden Bestandtheil unseres staatlichen Lebens bildend.

Die stattlichen Festgaben, die Ihnen überreicht werden und auf die Seine Magnificenz der Herr Bürgermeister in seiner Begrüssung hingewiesen hat, bieten mit ihrem vielgestalteten und reichen Inhalte eine Unterlage für die Bildung eines Urtheils und einen Maassstab für den Umschwung der Dinge seit zwei Decennien in naturwissenschaftlicher und medicinischer Richtung: wir erkennen aus diesen Veröffentlichungen, dass in zahlreichen Vereinen und Gesellschaften zur Förderung der Wissenschaft und zum Segen der Menschheit gewirkt wird. Staatsinstitute, Staatslaboratorien und Museen wirken in den nach neuesten Grundsätzen erbauten Räumen zur Förderung der Lösung wissenschaftlicher Probleme, und in herrlichen Krankenhäusern werden zum Heil der leidenden Menschheit die Errungenschaften der Forschung segenverbreitend angewendet. Vereine und Gesellschaften, private und öffentliche Institute, Krankenhäuser und sanitäre Einrichtungen laden Sie zum Besuche, beziehungsweise zum Studium ein. Es wird Ihnen, hochverehrte Herren, daraus die Erkenntniss erwachsen, dass nichts ungerechter wäre, als wollte man die oft gehörte und gedankenlos ausgesprochene Beurtheilung auf das hiesige Leben anwenden: als ob unter dem praktischen Leben und Treiben der Handels- und Weltstadt die Pflege der idealen Interessen der Wissenschaft zu leiden hätten. Wir hoffen, dass Sie in allen unseren Einrichtungen den einen leitenden Gedanken erkennen: Nur durch theoretisches Studium gelangt man zu einer gedeihlichen Anwendung wissenschaftlicher Wahrheit im praktischen Leben. Man erkennt, wie Heinrich Hertz nur durch mühevolle theoretische Studien und Experimente zu jener Entdeckung hingeleitet wurde, die heute die noch vor wenigen Jahren als unmöglich erachtete Beseitigung der Drähte zum elektrischen Telegraphiren möglich machte,

wie in der Studirstube die Theorien und Hypothesen erdacht und ergründet werden, welche die Seeschiffahrt sicherer gestalten und die Oceanwege zu kürzen vermögen, wie jahrelanges Forschen mit dem Mikroskope und der Retorte endlich dahin führte, dass in wohl eingerichteten Heilanstalten das Heer der die Menschheit bedrohenden Bakterien und Mikrokokken erfolgreich bekämpft werden kann. Die Naturforscher und Aerzte Hamburgs begrüssen Sie auf das Herzlichste, in der Hoffnung und mit dem Wunsche, dass der Aufenthalt in unserer Stadt auch Nutzenbringendes für Ihre Forschungen bieten möge, so dass auch in dieser Hinsicht sich die 73. Versammlung der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Aerzte würdig den ihr vorangegangenen anreihen möge und die Institution dieser unserer Gesellschaft auch hier ihren alten Ruhm „zur Förderung wissenschaftlicher Wahrheit und zur Verwerthung der gewonnenen Erkenntniss", zum Heile der Menschheit aufs Neue erproben wird. So heisse ich Sie denn in diesem Sinne im Namen der naturwissenschaftlichen und ärztlichen Vereine und Institute Hamburgs herzlich willkommen.

An diese Begrüssungsrede schloss sich folgende Ansprache des ersten Vorsitzenden der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Aerzte, des Herrn Professor Dr. Richard Hertwig-München:

Hochansehnliche Versammlung!

Se. Magnificenz der Herr Bürgermeister hat im Namen von Senat und Stadt, unser allverehrter Herr Geheimrath Neumayer im Namen der wissenschaftlichen Institute und Vereine Hamburgs die 73. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in den Mauern dieser stolzen Hansastadt mit warmen Worten willkommen geheissen. Ich glaube, meine Damen und Herren, Ihnen aus dem Herzen zu sprechen, wenn ich den hochgeehrten Rednern für diese Begrüssungen unseren tief empfundenen Dank ausspreche und diesen Dank auch an Hamburgs Bürgerschaft richte, die sich im kurzen Zeitraum eines Vierteljahrhunderts zum zweiten Male der grossen Mühe unterzogen hat, welche die Organisation einer so umfangreichen Versammlung mit sich bringt. Als wir im vorigen Jahre auf die an uns ergangene Einladung hin einstimmig für Hamburg votirten, hatten wir wohl alle die Ueberzeugung, dass uns für einen glänzenden Verlauf der Versammlung ungewöhnlich günstige Bedingungen geboten würden. Nimmt doch Hamburg unter den Städten, die die Pforten für Deutschlands Aussenhandel bilden, den ersten Platz ein. Eine glückliche geographische Lage, eine sich über Jahrhunderte erstreckende grosse Tradition, der starke Schutz des Deutschen Reiches, vor Allem aber die zu kühnem Unternehmungsgeist gepaarte Thatkraft und Intelligenz seiner Einwohner haben Hamburg zum wichtigsten Hafenplatz des gesammten europäischen Continents erhoben. Zwar gilt bei der Vielgestal-

tigkeit der Bande, welche die Völker der Neuzeit zu gemeinsamer Culturarbeit vereinen, nicht mehr mit gleicher Ausschliesslichkeit wie früher der Satz, dass die Handelswege zugleich auch die Culturwege der Menschheit sind: immerhin besteht derselbe auch jetzt noch zu Recht. Mit den Schiffen, die Hamburgs Hafen verlassen und dahin zurückkehren, strömt ein gut Theil deutscher Eigenart und deutscher Intelligenz in die entferntesten Länder und kehrt reiche Anregung zu uns zurück. Und so weht ein freier, vielseitig bewegter Geist an dem Orte, an dem die Gesellschaft deutscher Naturforscher und Aerzte in das neue Jahrhundert eintritt.

Auf der Versammlung in Aachen nahmen wir Abschied von dem Jahrhundert, welchem unsere Gesellschaft ihre Entstehung verdankt, indem uns von berufener Seite ein Bild der Errungenschaften entworfen wurde, die wir auf dem Gebiete der Medicin und Naturwissenschaften dem 19. Jahrhundert verdanken. Man hätte daran denken können, diesem Rückblick in die Vergangenheit heute einen Ausblick in die Zukunft anzuschliessen und zu erörtern, welche Aufgaben im neuen Jahrhundert auf den verschiedenen Wissensgebieten der Lösung harren, und welches Rüstzeug von Forschungsmethoden uns hierbei zu Gebote steht. Indessen, voraussichtlich würden auch die hervorragendsten Vertreter der Naturwissenschaften und Medicin nicht den Muth besitzen, eine Prophetenrolle zu übernehmen in einer Zeit, in welcher rascher als je der Pulsschlag wissenschaftlichen Lebens vibrirt. Wie schnell haben nicht die Arbeitsgebiete der einzelnen Wissenschaften im Lauf der letzten Jahrzehnte ihr Aussehen verändert. Probleme, die lange Zeit unnahbar erschienen, wurden im Sturm der Lösung entgegengeführt, neue Arbeitsgebiete durch unerwartete Entdeckungen erschlossen.

Gleichwohl möchte ich Sie bitten, meine Damen und Herren, mit mir den Blick auf die Zukunft zu richten, wenn auch nur, um zu erörtern, wie sich voraussichtlich auf Grund der bisherigen Entwicklung das Wechselverhältniss zwischen den im Rahmen unserer Gesellschaft vertretenen Disciplinen gestalten wird, und welche Gesichtspunkte sich hieraus für die Aufgaben unserer Gesellschaft ergeben.

Blicken wir von einem einheitlichen Gesichtspunkt auf das vergangene Jahrhundert zurück, von dem unser geehrter Herr Geschäftsführer so beredt gesprochen hat, so können wir dasselbe als ein Jahrhundert zunehmender Specialisirung charakterisiren. Als der geistvolle Oken im Jahre 1822 die Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte ins Leben rief, erledigte dieselbe ihre Tagesordnung in 3, später in 6 Sitzungen, an welchen sich sämmtliche Mitglieder betheiligten. Allmählich vereinigte das Bedürfniss zu näherem Gedankenaustausch die engeren Fachgenossen zu zwanglosen Zusammenkünften, die neben den nach wie vor den Schwerpunkt der Versammlung bildenden 6 allgemeinen Sitzungen einhergingen und sich zum ersten Male im Jahre

1828 in Berlin zu festeren Sectionen, 7 an der Zahl, constituirten. Das Verhältniss dieser beiden Theile der Versammlungen hat sich in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts vollkommen verschoben. Die allgemeinen Sitzungen wurden auf 4, 3, schliesslich sogar auf 2 eingeschränkt und gewannen einen auf weitere Kreise berechneten Charakter; das wissenschaftliche Leben dagegen concentrirte sich in den Sectionen, die immer mehr Zeit für sich in Anspruch nahmen und ihre Zahl vermehrten. Letztere betrug 1871 15 und stieg in den letzten Jahren weit über 30 hinaus. Und damit nicht genug der specialisirenden Tendenzen! Es entwickelten sich neben der grossen Naturforscher- und Aerzteversammlung die Specialcongresse der verschiedenen Fächer der Medicin, der Chemiker, Mathematiker, der Zoologen, Botaniker, Anatomen, ihrer Entwicklung nach Ableger der Naturforscher-Versammlung, die den mütterlichen Stamm zu überwuchern und ihm seine alte Bedeutung zu rauben drohen.

Mit Recht hat man diese moderne Richtung übermässiger Specialisirung beklagt, hat man beklagt, dass das Interesse für allgemeine Fragen und die allgemeine naturwissenschaftlich-medicinische Bildung in erschreckender Weise abgenommen hat. Ich glaube jedoch, dass wir den Höhepunkt dieses Entwicklungsprocesses überwunden haben. Die Natur ist wie ein Organismus. Zergliedern Sie den menschlichen Körper, so wird Sie zunächst die Vielgestaltigkeit seiner Theile beschäftigen. Je tiefer Sie sich aber in das Studium dieser Theile versenken, um so klarer tritt ihre Zusammengehörigkeit, ihre wechselseitige Abhängigkeit, die Uebereinstimmung ihrer Bildungsgesetze hervor. Und so ist auch die Natur ein Ganzes, zu dem die Forschung zurückgeführt wird, je tiefer sie sich in die Einzelheiten zu verlieren scheint. Sie werden heute noch Gelegenheit haben, zu hören, wie die specialisirte Untersuchung von Zelltheilung und Befruchtung die Arbeitsgebiete von Anatomen, Physiologen, Zoologen und Botanikern einander genähert hat. Gemeinsame Thätigkeit hat das Problem so weit gefördert, dass man schon die Hülfe des Physikers und Chemikers in Anspruch nehmen muss, um im Verständniss der Erscheinungen Fortschritte zu erzielen. Beim intensiven Studium der Eigenschaften der Krystalle ist der Mineraloge zum Physiker geworden. Chemie und Physik sind in so innige Wechselwirkung getreten, dass die Abgrenzung beider ein Gegenstand individueller Auffassung geworden ist. Wie durch Radiographie, Elektrotherapie, Parasiten- und Bakterienkunde die Bedeutung der meisten Naturwissenschaften für die Medicin zugenommen hat, welch' ein Anachronismus innerhalb der Medicin ein einseitiges Specialistenthum ist, welches nicht die Gesammtheit menschlicher Organisation berücksichtigt, bedarf in Ihren Kreisen keiner weiteren Durchführung.

Und so stehen wir denn an der Wende des 19. und 20. Jahrhunderts vor der interessanten Erscheinung, dass die immer mehr specialisirte Forschung

in ihren Endresultaten wieder zum Allgemeinen zurückleitet. In keiner Zeit ist die Solidarität der Interessen zwischen den einzelnen Zweigen der Naturwissenschaften und der Medicin so mächtig gewesen, wie zu unserer Zeit. In der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts war es eine häufige Erscheinung, dass Vertreter der Naturwissenschaften aus der Medicin hervorgingen, dass andererseits Mediciner sich eifrig aus Liebhaberei mit der einen oder anderen Naturwissenschaft befassten; es war ein persönliches Moment, das um Medicin und Naturwissenschaften ein einigendes Band schlang, das vielseitige Interesse des Individuums, dessen Arbeitskraft noch nicht durch hochgespannte Anforderungen im eigenen Beruf ganz in Anspruch genommen wurde. Jetzt ist ein sachliches Moment an die Stelle des persönlichen getreten: der durch Vertiefung der Forschung entwickelte innere Zusammenhang der Wissensgebiete, fürwahr ein kräftigeres Band als die oft dilettantische Interessenvielseitigkeit vergangener Zeiten.

Ziehen wir aus der geschilderten Sachlage die Consequenzen, welche sich für die zukünftige Gestaltung unserer Versammlungen ergeben, so lassen sich dieselben in kurze Worte zusammenfassen. Möge den Einzelcongressen die Fortbildung der Fachwissenschaften und ihrer Methodik gewahrt bleiben; es sei dagegen die Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte ein Bollwerk gegen das öde Specialistenthum, eine Pflegestätte der Interessen, welche Medicin und Naturwissenschaften in engeren und weiteren Kreisen vereinen. Gelingt es unseren Versammlungen, dieser schwierigen Aufgabe gerecht zu werden, so wird es auch gelingen, die Elemente wieder zu gewinnen, welche alles Heil von den Fachcongressen erwarten und sich dem Muttercongress mehr und mehr entfremdet haben.

Was ich hier zum Ausdruck gebracht habe, ist in den Kreisen unserer Versammlungen viel erörtert worden und hat zu wohlüberlegten Anträgen Veranlassung gegeben. Die Herren der Hamburger Geschäftsführung haben zum ersten Male den Boden platonischer Erörterungen verlassen und den Anfang gemacht, in der Tagesordnung streng wissenschaftlichen Fragen von allgemeiner Bedeutung einen grösseren Spielraum zu gewähren. Sie haben sich dadurch ein grosses Verdienst erworben, für das wir ihnen zum wärmsten Danke verpflichtet sind.

Als vor 71 Jahren unsere Versammlung zum ersten Male in Hamburg tagte, wurden im Gegensatz zu früheren Jahren die allgemeinen Sitzungen eingeschränkt und der Schwerpunkt der Verhandlungen in die Fachsectionen verlegt. Möge es Hamburg vergönnt sein, abermals einen Wendepunkt in der Geschichte unserer Gesellschaft zu bilden und einen Verjüngungsprocess einzuleiten, welcher den Versammlungen deutscher Naturforscher und Aerzte es ermöglicht, ihre strittig gewordene centrale Stellung im wissenschaftlichen Leben unseres Vaterlandes

zu behaupten. Das würde für unsere Hamburger Gastfreunde der schönste Dank und der beste Lohn ihrer Bemühungen sein.

Und so wollen wir in die heutige Tagesordnung, die für unsere Gesellschaft den Arbeitsanfang in einem neuen Jahrhundert bedeutet, mit einem alten Spruch eintreten, dem Begleiter feierlicher akademischer Handlungen:

Quod bonum felix faustumque sit!

Es folgte der Vortrag des Herrn Professor Dr. E. Lecher-Prag: „Ueber die Entdeckung der elektrischen Wellen durch H. Hertz und die weitere Entwicklung dieses Gebietes“ (s. S. 27).

Herr Professor Dr. Voller-Hamburg:

Meine Damen und Herren!

Sie alle haben bereits durch lebhaften Beifall Ihren Dank ausgesprochen für die erschöpfende Darstellung des Lebenswerks von Hertz. Ich glaube, Sie werden den Eindruck bekommen haben, dass die Anregung und der Anstoss nach allen Richtungen hin, welche das Werk von Hertz gegeben hat, so ungeheure, so mannigfaltige gewesen sind, dass sie Jahrhunderte dastehen werden als das Werk eines Schöpfers neuer Gedanken, neuer Forschungsgebiete für lange, lange Zeit. Nochmals danke ich dem Herrn Redner für seinen Vortrag.

Wir würden jetzt, verehrte Anwesende, den zweiten Vortrag des Herrn Hofmeister-Strassburg: „Ueber den chemischen Hausrath der Zelle“ zu vernehmen haben. Leider haben wir gestern die Nachricht bekommen, dass Herr Professor Hofmeister schwer erkrankt ist. Er hat die Reise nach Hamburg zu seinem grossen Schmerz und Leidwesen aufgeben müssen, so dass wir also den Vortrag ausfallen lassen müssen.

Weiter machte Herr Professor Voller noch einige geschäftliche Mittheilungen, und dann sprach zum Schluss Herr Professor Dr. Th. Boveri-Würzburg über „Das Problem der Befruchtung“ (s. S. 44).

Mit Worten des Dankes an den Redner schloss der erste Geschäftsführer die Sitzung.

(Schluss der Sitzung 1¼ Uhr.)

II. Allgemeine Sitzung.

Freitag, den 27. September, Vormittags 10 Uhr.

Zunächst wurden drei Vorträge gehalten: von Herrn Geh. Med.-Rath Prof. Dr. H. Curschmann-Leipzig über „Medicin und Seeverkehr“ (s. S. 65), von Herrn Professor Dr. W. Nernst-Göttingen „Ueber die Be-

deutung elektrischer Methoden und Theorien für die Chemie“ (s. S. 83), endlich von Herrn Geh. Reg.-Rath Prof. Dr. J. Reinke-Kiel „Ueber die im Organismus wirksamen Naturkräfte“ (s. S. 100).

Nachdem der erste Geschäftsführer, Herr Prof. Dr. Voller-Hamburg, den Vortragenden gedankt hatte, richtete der erste Vorsitzende der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Aerzte, Herr Professor Dr. R. Hertwig-München, folgende Dankes- und Abschiedsworte an die Versammlung:

Meine hochverehrten Herren!

Die Tage unserer Hamburger Zusammenkunft gehen ihrem Ende entgegen. Mit der heutigen allgemeinen Sitzung haben wir die wichtigsten Theile unseres Programms zu Ende geführt. Ich glaube, wir haben alle Ursache, mit dem Resultat zufrieden zu sein. In allgemeinen Sitzungen wurden uns Fragen von grosser Tragweite in streng wissenschaftlicher und doch allgemein verständlicher Form vorgeführt. In der eine Neuerung bildenden Sitzung der vereinigten beiden Hauptgruppen wurde ein gewaltiges Forschungsgebiet vor unser geistiges Auge gestellt, welches fast auf allen in den Rahmen unserer Gesellschaft gehörenden wissenschaftlichen Fächern grosse Gährung hervorzurufen beginnt. Das Gleiche war auch in den Donnerstags-Sitzungen der Fall, welche, wenn auch immer nur für eine der beiden Hauptgruppen berechnet, doch abermals ein Vereinigungspunkt für beide, für Naturforscher und Aerzte, wurden. Wenn wir nun weiter die zahlreichen combinirten Sitzungen berücksichtigen, welche eine grosse Besucherzahl in sich vereinigten, so glaube ich es wohl als ein sehr erfreuliches Zeichen betrachten zu dürfen, dass der sich als eine innere Nothwendigkeit erweisende engere Zusammenschluss der Wissensgebiete auch aus den Kreisen der Mitglieder und Theilnehmer heraus eine starke Unterstützung erfahren hat. Ich glaube daraus für die Leitung der Versammlung die Ermuthigung entnehmen zu dürfen, auf dem begonnenen Wege fortzufahren und in der Richtung eines engeren Zusammenschlusses eine organische Fortbildung der Gesellschaft zu suchen, eine Fortbildung, welche nicht von aussen an sie herantritt, sondern langsam aus ihrem innersten Wesen heraus sich entwickelt. — Wem haben wir diesen, ein günstiges Omen für die Zukunft bedeutenden glücklichen Verlauf unserer Versammlung zu verdanken? In erster Linie den Rednern, welche uns die geistige Nahrung zubereitet und damit, wie ihre näheren Fachcollegen wissen, ein gewaltiges Stück Arbeit geleistet haben. Ihnen Allen unseren herzlichsten Dank!

Soll ein grosses Ganze zum guten Ende geführt werden, so ist aber mehr als ein äusserliches Aneinanderketten der Theile nothwendig; es bedarf der Organisation. Je mehr unsere Gesellschaft wächst — in diesem Jahre haben fast 3500 Mitglieder und Theilnehmer und etwa 1200 Damen

Karten gelöst — um so mehr wächst die Schwierigkeit und Verantwortlichkeit der Organisation. Die mit unseren Einrichtungen vertrauten Herren wissen, dass diese Riesenarbeit fast ausschliesslich in den Händen der Localausschüsse liegt, dass sie von den Hamburger Herren im Laufe des letzten halben Jahres gelöst worden ist, und dass diese Herren durch die ausgezeichnete Lösung ihrer Aufgabe unseren ganz besonderen Dank verdient haben. Ich fühle mich verpflichtet, aus dem Kreise der Hamburger Herren zwei Namen besonders hervorzuheben, welche an der Spitze des Ganzen gestanden haben, unsere Geschäftsführer, Herrn Professor Dr. Voller und Herrn Medicinalrath Dr. Reincke. Es wird mir bei Nennung dieser beiden Herren, mit denen ich im letzten Jahre in so vielfache freundschaftliche Beziehungen getreten bin, ganz besonders warm ums Herz. Ich brauche auch mit diesem Gefühl nicht zurückzuhalten, denn Sie werden alle dieses Gefühl theilen. Sie Alle sind ja mit den beiden Herren in engere oder weitere Berührung getreten und haben kennen gelernt, mit welcher Umsicht und Gewissenhaftigkeit, vor allen Dingen auch mit welch' feiner Liebenswürdigkeit sie ihres schwierigen Amtes gewaltet haben. Ich glaube, Ihnen Allen aus dem Herzen zu sprechen, wenn ich beiden Herren unseren tiefgefühltesten Dank darbringe. Möge dieser schlichte Dank eine Entschädigung sein für die gehabte Mühe und eine liebe Erinnerung für die Zukunft! (Bravo, Händeklatschen.)

Ich wende mich nun an weitere Kreise, nicht nur an die Herren Mitglieder und Theilnehmer, sondern auch an ihre Damen. Hochverehrte Damen und Herren! Sonnige Tage liegen hinter uns, sonnig nicht nur im gewöhnlichen Sinne des Wortes, sondern in viel tieferem Sinne. Denn die vom blauen Himmel überspannten Gestade von Elbe und Alster bildeten die Szenerie, auf welcher sich in arbeitsfreien Stunden ein fröhliches Leben entwickelte. Der Sonntag brachte uns Blumen in bunter Fülle. Es schloss sich für einen grossen Theil der Gesellschaft der wahrhaft fürstliche Empfang in den Prunksälen des Rathhauses an und für einen anderen Theil die entzückenden Festlichkeiten auf den unübertrefflichen Schiffen der Hamburg-Amerika-Linie. Es ist uns zuviel herzliche Gastfreundschaft zu Theil geworden, als dass ich aller Veranstaltungen hier gedenken könnte. Ich muss mich begnügen, den Dank für sie an eine centrale Stelle zu richten, an Hamburgs Bürgerschaft und Senat. Wenn wir von Hamburg scheiden, werden wir durch die herrlichen Erinnerungen an die Stadt, ihre Einwohner und Einwohnerinnen den köstlichen Schatz inneren Lebens, der den Menschen bis zum Tode begleitet, überreich bereichert haben. Sie aber, meine hochverehrten Damen und Herren, die Sie Gelegenheit gehabt haben, Hamburgs wundervolle Gastlichkeit kennen zu lernen, bitte ich, den Gefühlen der Dankbarkeit und Verehrung Ausdruck zu verleihen, indem ich Sie ersuche, sich von Ihren Plätzen zu erheben. (Bravo, lebhaftes Händeklatschen.)

Zum Schluss ergriff nochmals der erste Geschäftsführer, Herr Professor Dr. Voller-Hamburg, das Wort:

Meine hochgeehrten Damen und Herren!

Wie es vor 5 Tagen meine Pflicht war, diese grosse und schöne Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu eröffnen, so ist es nunmehr meine fast wehmüthige Pflicht, sie auch wieder zu schliessen. Alles Schöne im Leben, es geht vorüber, auch die schönen Tage, die wir mit einander verleben durften, sind dahin gegangen. Uns aber, die wir hier zurückbleiben, uns ist der warme und herzliche Dank, den Sie uns für die doch immerhin geringe Mühe, die wir gehabt haben, ausgesprochen haben, eine unauslöschliche Erinnerung an diese Tage; das darf ich im Namen Aller und speciell im Namen meines Collegen, des Herrn Medicinalrath Dr. Reincke, hier aussprechen. Wir haben das Gefühl, und ich habe diesem Gefühl schon Ausdruck gegeben beim Festmahl, ohne die gewaltige Mitarbeit der grossen Gemeinde wissenschaftlich denkender Männer in unserem ganzen Volke, ohne diese wäre ja überhaupt eine solche Versammlung nicht denkbar gewesen. Dass Sie in so grosser Zahl hierher gekommen sind, eine so grosse Zahl erlauchter Namen, eine so grosse Reihe tüchtiger, schaffender Männer aus allen Gebieten, dafür danken wir Ihnen allen, und wenn uns vorher aus so berufenem Munde gesagt worden ist, dass diese Versammlung fruchtbar gewesen sei an wissenschaftlichen Ergebnissen, dann freuen wir uns von ganzem Herzen, dann ist das der grösste und schönste Lohn, den wir uns nur wünschen können. Und ich kann nun bloss noch hinzufügen, dass, so wie diese Versammlung, wie wir ja sagen dürfen, erfolgreich verlaufen ist, wie der grosse Gedanke der Zusammenfassung aller auf dem Gebiete der reinen wie angewandten Naturwissenschaften, wozu schliesslich die Medicin doch auch gehört, Arbeitenden zu gemeinsamer Förderung, so wie dieser Gedanke hier gestärkt worden ist, so möge derselbe auch im nächsten Jahre wie in aller Zukunft weiter gepflegt werden. Wenn wir uns im nächsten Jahre in Karlsbad wiedersehen — und ich hoffe, recht viele von uns werden sich dort wieder zusammenfinden — dann möge ein gleich befriedigender Verlauf, wie er uns hier vergönnt gewesen ist durch die Gunst des gesammten wissenschaftlichen Deutschlands, durch die Gunst der Witterung, durch die Gunst der Bevölkerung und der Behörden unseres Staates, möge ein eben so guter Verlauf sich dort fortsetzen und so in alle weitere Zukunft hin. Das ist mein herzlichster Wunsch, dem ich im Namen Hamburgs Ausdruck gebe. Und damit, meine Damen und Herren, schliesse ich die 73. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte.

(Lebhaftes Bravo, anhaltendes Händeklatschen.)

(Schluss 1 Uhr 10 Minuten.)

Geschäftssitzungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Aerzte.

I. Geschäftssitzung.

Mittwoch, den 25. September, Morgens 8 Uhr.

Vorsitzender: Herr Professor Dr. R. Hertwig-München, erster Vorsitzender der Gesellschaft.

1. Als Ort der 74. Versammlung im Jahre 1902 wurde einstimmig Karlsbad gewählt.

Zu Geschäftsführern wurden die Herren Primarius Dr. Finck (I. Geschäftsführer) und Stadtingenieur Knett (II. Geschäftsführer) ernannt.

2. Vorstandswahlen. Zum zweiten stellvertretenden Vorsitzenden wurde Herr Professor Dr. H. Chiari-Prag, zum Mitgliede des Vorstands Herr Professor Dr. F. Hofmeister-Strassburg i. E. gewählt.

Das Amt des ersten Vorsitzenden geht am 1. Januar 1902 auf Herrn Geh. Medicinalrath Prof. Dr. O. Heubner-Berlin über.

3. Zu Mitgliedern des wissenschaftlichen Ausschusses wurden gewählt

a) aus der naturwissenschaftlichen Hauptgruppe die Herren: Professor Dr. H. Schubert-Hamburg, Professor Dr. A. Gutzmer-Jena, Professor Dr. W. Nernst-Göttingen, Professor Dr. Eduard Buchner-Berlin, Geh. Hofrath Prof. Dr. W. Pfeffer-Leipzig, Prof. Dr. B. Hatschek-Wien, Professor Dr. A. Penck-Wien, Geh. Bergrath Prof. D. H. Credner-Leipzig, Oberrealschuldirector Dr. H. Schotten-Halle a. S.;

b) aus der medicinischen Hauptgruppe die Herren: Professor Dr. H. Lenhartz-Hamburg, Professor Dr. R. Stintzing-Jena, Geh. Med.-Rath Prof. Dr. J. v. Mikulicz-Breslau, Prof. Dr. F. Marchand-Leipzig, Geh. Med.-Rath Prof. Dr. F. v. Winckel-München, Sanitätsrath Prof. Dr. Ph. Biedert-Hagenau, Prof. Dr. Wollenberg-Tübingen, Prof. Dr. R. Bonnet-Greifswald.

Die naturwissenschaftliche Hauptgruppe wählte zum Vorsitzenden Herrn Professor Dr. E. Selenka-München, zu dessen Stellvertreter Herrn Professor Dr. W. Nernst-Göttingen.

In der medicinischen Hauptgruppe fiel die Wahl auf Herrn Professor Dr. R. Stintzing-Jena als Vorsitzenden, auf Herrn Professor Dr. M. Verworn-Göttingen als Stellvertreter.

4. Es wurde über folgenden Antrag des Herrn Professor Dr. R. KOBERT-Rostock berathen:

> „Der wissenschaftliche Ausschuss der Naturforschergesellschaft möge von seinem ihm nach § 18 der Statuten zustehenden Rechte Gebrauch machen und eine Commission schaffen, welche jährlich einmal eine Sammelforschung über neue Mittel veranstaltet und das in übersichtliche Form gebrachte Ergebniss der Naturforscherversammlung in einer vereinigten Situng aller betheiligten Disciplinen mittheilt und zur Discussion stellt."

Dazu war ein Zusatzantrag von den Herren Prof. Dr. W. HIS jun.-Dresden und Prof. Dr. TH. PAUL-Tübingen gestellt, der die Zusammensetzung der beantragten Commission und den von dieser zu erstattenden Bericht betraf.

Die Beschlussfassung über beide Anträge wurde nach lebhafter Debatte auf Freitag, den 27. September, vertagt.

II. Geschäftssitzung.

Freitag, den 27. September, Morgens 8½ Uhr.

Vorsitzender: Herr Professor Dr. R. HERTWIG-München.

Die Besprechung des Antrages KOBERT sowie des Zusatzantrages HIS-PAUL (s. oben) wurde fortgesetzt. Eine Abstimmung über die Anträge wurde nicht vorgenommen, vielmehr die Besprechung nur als eine informatorische betrachtet.

VORTRÄGE

IN DEN

ALLGEMEINEN SITZUNGEN.

I.

Ueber die Entdeckung der elektrischen Wellen durch Heinrich Hertz und die weitere Entwicklung dieses Gebietes.

Von

Ernst Lecher.

Fünfundzwanzig Jahre sind seit dem letzten Hamburger Naturforschertage verflossen. Damals war HEINRICH HERTZ ein 19jähriger Jüngling. Schon 1894 starb er nach einer Arbeitszeit von nur 13 Jahren. So gewaltig aber war dieses Forschers Kraft und Können, dass es heute, da unsere stolze Versammlung wieder in seiner schönen Vaterstadt zu Gaste ist, als Dankespflicht erscheint, den Manen des grossen Hamburger Physikers unsere ehrfurchtsvolle Huldigung darzubringen.

In diesem Sinne bitte ich, hochansehnliche Versammlung, meine folgenden bescheidenen Worte entgegenzunehmen. — Ich werde nur einen einzigen Theil des HERTZ'schen Werkes flüchtig berühren können, die Erscheinungen der elektrischen Wellen und die weitere Entwicklung dieses Gebietes.

Die Ergebnisse dieser seiner Forschung hat HERTZ selbst in der berühmten Heidelberger Rede gelegentlich des Naturforschertages 1889 glänzend dargestellt. Er nennt da seine Versuche „nur ein Glied in einer längeren Kette".

Den Epigonen gelang es wohl, dieses Glied zu festigen, doch kaum ein weiteres von gleicher Bedeutung zu finden. Alles Grundlegende hat HERTZ selbst geliefert oder wenigstens angedeutet. Seine Mit- und Nachforscher vermochten kleine Lücken auszufüllen oder Verbesserungen mehr in der äusseren Form, denn in der Wesenheit vorzunehmen. Das Neue aber, das sie auf diesem Gebiete schufen, ist noch zu wenig gesichert, um gleichwerthig als neues Glied der Kette angefügt zu werden. —

Reiche und reife Früchte heimste HERTZ ein, die Andere vor ihm längst gesät und die zu ernten ihm bestimmt war; denn er konnte sich nicht nur geistig, sondern auch in richtiger Zeitenfolge den Ersten seines Faches anreihen.

FARADAY, der glückliche Finder, hatte in den Elektrisirungen oder Magnetisirungen eines Körpers wirkliche physikalische Veränderungen des Raumes gemuthmasst. Er hatte sich losgesagt von den altgewohnten Fernkräften, die, zeitlos den Raum überspringend, zugleich mit ihrer Geburt plötzlich Allgegenwart erlangen sollten. MAXWELL bannte dann später mit dem Spürsinn des Genies diese Ideen in einige wenige mathematische Zauberformeln, deren Auswerthung ihn seine elektromagnetisehe Lichttheorie gewinnen liess. —

Nach MAXWELL giebt es auch elektrische Ströme in Nichtleitern, in den sogenannten Dielektricis: kurz dauernde Verschiebungsströme, z. B. zwischen den Platten eines Condensators, wenn dessen Ladung sich ändert. MAXWELL hatte es bald aufgegeben, eine endgültige, mechanische Vorstellung dieser dielektrischen Ströme zu suchen; er beschränkte sich, die Möglichkeit irgend welcher mechanischer Bilder zu zeigen. Immer aber muss ein solcher kurzdauernder Verschiebungsstrom im Isolator dieselben magnetischen und Inductionswirkungen haben, wie ein gewöhnlicher Strom im Leiter; pendelt er rasch hin und her. so werden in einem benachbarten, isolirenden Raume neuerliche Verschiebungsströme inducirt und so fort. Es pflanzt sich auf diese Weise eine transversale, wellenartige Erscheinung weiter, bis dieselbe durch Induction in einem Leiter absorbirt und in Wärme umgesetzt wird.

Rechnet man die Fortpflanzung einer solchen elektrischen Welle, so erscheint im Resultate sowohl eine elektrische als auch eine magnetische Charakterisirung des Mediums: die Dielektrisirungs- und die Magnetisirungszahl. Das Quadrat der Fortpflanzungsgeschwindigkeit ergiebt sich als gleich dem reciproken Producte dieser zwei Grössen. Ganze Potenzen dieses Werthes wurden aber in verschiedenen Gebieten der Elektricitätslehre als Ergebniss der stets auftretendzn Wechselbeziehung von elektrostatischen und magnetischen Kräften seit KOHLRAUSCH und WEBER (1856) zu wiederholten Malen gemessen. Den Werth selbst fand man merkwürdiger Weise stets gleich der Lichtgeschwindigkeit. MAXWELL gelangte somit zu dem theoretischen Schlusse, dass eine elektromagnetische Welle sich in Isolatoren, in Luft, im leeren Raume mit derselben Geschwindigkeit fortpflanzen müsse, wie Licht. Aber nicht nur die Geschwindigkeit. auch die sonstigen geometrischen Eigenschaften eines solchen elektrischen Strahles sollen genau wie die eines Lichtstrahles sein. Es wäre somit ein Lichtstrahl eine elektrische Welle. Licht ist Elektricität. —

Was FRESNEL als Aetherschwingung ansah, sind nach MAXWELL ungeschlossene Ströme in ebendemselben Aether. Der Aether des Optikers und der Aether des Elektrikers sind identische Begriffe. Sie sind der leere Raum, dessen physikalische Eigenschaften zu studiren als eine wichtige Aufgabe der Naturforschung erscheint.

Diese theoretischen Ueberlegungen MAXWELL's stammen aus dem

Jahre 1865. Sie fanden nur langsam Boden. Ganz unmöglich erschien aber ein experimenteller Beweis. Noch 1881 veröffentlichte Fitzgerald eine Arbeit „Ueber die Möglichkeit, wellenartige Störungen im Aether mit Hülfe elektrischer Kräfte hervorzurufen". Hertz referirte darüber in den „Fortschritten der Physik" und berichtet, wie Fitzgerald Gründe beibringt, welche solche Störungen unmöglich erscheinen lassen.

Als dann 6 Jahre später Hertz zeigte, dass schnelle elektrische Vorgänge in Dielektricis elektrodynamisch wirken, dass elektromagnetische Draht- und Luftwellen interferiren können, als er diese Wellen sich brechen und reflectiren liess, deren Länge und Fortpflanzung wirklich mass, war es wohl ein freudiges Gefühl der Erleichterung: den genialen rechnerischen Träumen der elektromagnetischen Lichttheorie entsprach reale Wirklichkeit. Es stand fest: Elektromagnetische Induction, elektrische und magnetische Störungen pflanzen sich durch die Luft oder andere Isolatoren nicht momentan, sondern mit Lichtgeschwindigkeit fort.

Und wie einfach war die Wünschelruthe, mit der Hertz seine Schätze hob. Die längst bekannten elektrischen Schwingungen, welche fast jede elektrische Entladung begleiten, erwiesen sich ihm auch als Ausstrahler von Maxwell'schen Wellen. Durch diese wurden in einem entfernten Drahtringe rasch oscillirende Wechselströme inducirt, und ein kleines Fünkchen zeigte dem scharfen Blick des grossen Forschers noch in etwa 10 Meter Entfernung von der Ursprungstelle die Existenz elektrischer Wellen an. Und da sagte er: „Es erscheint unmöglich, fast widersinnig, dass diese Fünkchen sollten sichtbar sein, aber in völlig dunklem Zimmer für das geschonte Auge sind sie sichtbar."

Mit Rührung erfüllt uns der naive Jubel dieser Worte. Sie sind der bescheidene Taufspruch eines gewaltiger Zukunft entgegenstrebenden Keimes.

Auf 300 Kilometer sendet bereits Marconi, dem wohl der Ruhm gebührt, als Erster die technisch werthvolle Seite der sogenannten drahtlosen Telegraphie ausgearbeitet zu haben, seine elektrischen Wellen und lässt sie in dieser Entfernung hämmern und klopfen. Vorbereitete Energie können wir so in fernen Orten beliebig auslösen. Im Guten und Bösen. Manch' gefährdetem Schiffe auf einsamem Meere ist jetzt schon, wo die Sache noch im Beginne ihrer Entwicklung steht, durch diese Aether-Telegraphie rechtzeitig Hülfe zu Theil geworden. Unsere elektrischen Wellen können auch andererseits, z. B. von diesem Saale aus ohne Drahtleitung mit Lichtgeschwindigkeit fortfliegend, unschwer ganz Helgoland in die Luft sprengen, natürlich das nöthige Dynamit und die behördliche Erlaubniss vorausgesetzt. — Schwierigkeit macht es noch, diese Aetherwellen nach bestimmten Punkten zu lenken, und hier arbeiten deutsche Forscher mit in erster Reihe, Braun und Slaby.

Könnte HERTZ heute unter uns treten, er wäre wohl selbst überrascht, wie seine Wellen über die engen Grenzen des Laboratoriums hinausgewachsen sind, dessen Wände ihm durch ungewollte Reflexion doch so manchen bösen Streich gespielt hatten. Diesen Uebelständen zu entgehen, mussten gewisse Versuche in einer besonders grossen Halle wiederholt werden. Damals arbeiteten SARASIN und DE LA RIVE mit Wellen von einigen Metern Länge. Heute constatiren wir noch Wellen von einigen Millimetern.

Ueber das Instrumentchen, welches durch seine grosse Empfindlichkeit solche technische und wissenschaftliche Erfolge ermöglichte, den sogenannten Cohärer, wissen wir eigentlich noch wenig Definitives.

Dass unter dem Einflusse benachbarter Entladungen der elektrische Leitungswiderstand von lose aneinanderliegenden Metalltheilchen sich ändert, entdeckte BRANLY. Schon früher waren einschlägige Beobachtungen, deren Bedeutung sich erst später klärte, von verschiedener Seite gelegentlich gemacht worden. Der Name Cohärer stammt von LODGE, welcher gleichzeitig mit ASCHKINASS u. A. solche schlechte Contacte zur Entdeckung elektrischer Wellen anwendete. Die elektrische Bestrahlung ändert den Widerstand des Cohärers. Man kann so die Stärke eines Hülfsstromes variiren und dadurch in verschiedenster Weise eine Registrirung der einfallenden Schwingung erreichen. LODGE's Anschauung, dass das durch die elektrischen Wellen verursachte Funkenspiel eine Art elektrische Schweissung der Metalltheilchen und dadurch eine dauernd bessere Leitung bewirkte — daher der Name Cohärer —, hat viel Gründe für sich, besonders den, dass die Stromstärke im minimalen Querschnitte der Fünkchen sehr gross sein muss, und dass mechanisches Klopfen nach Aufhören der Bestrahlung den alten Widerstand wieder herstellt. Andererseits wirkt auch Kohle als Cohärermaterial. Man müsste also die Idee des Aneinanderschmelzens etwas modificiren. BRANLY wieder glaubt an eine Aenderung des isolirenden Mittels. Thatsächlich ist der Einfluss dieses Mittels ein grosser. Silberfeilicht, in Vaseline oder Glycerin gebettet, vergrössert den Widerstand bei Bestrahlung und nimmt nach Beendigung derselben wieder von selbst den alten Werth an. Merkwürdige Erscheinungen wurden bei Benetzung von zarten Leitercontacten studirt. Schliesslich zeigte sich gar, dass Pulver von gewissen Substanzen, z. B. Arsen und Osmium, je nach Stärke der einfallenden Strahlung in seiner Leitfähigkeit hinauf- oder heruntergeht. Ueberdies giebt es noch chemische Wirkungen, und selbst akustische Beeinflussungen hat man nachweisen können. Ebenso wenig wie an Erklärungsversuchen mangelt es an Titeln. Cohäre und Anticohärer, Frittröhre, Radioconductor etc. taufte man diesen merkwürdigen Entdecker elektrischer Wellen.

Es wurden zu gleichem Zwecke andere Methoden, mehr als 20, angegeben. Als besonders wichtige Messinstrumente seien noch die

thermo-elektrische Sonde von Klemenčič und das Bolometer von Rubens erwähnt.

Dank der unglaublichen Empfindlichkeit des Cohärers können wir mit den Dimensionen jener Apparate, welche die elektro-magnetischen Wellen aussenden, ganz bedeutend herabgehen. Je kleiner diese Dimensionen, desto kleiner sind die Wellen, desto rascher die Schwingung.

Immer aber müssen wir, wie es schon Hertz gethan, in einem ungeschlossenen Leiter das elektrische Gleichgewicht rasch stören. Wir entladen z. B. zwei entgegengesetzt geladene Leiter durch einen kurzen Funken, oder wir lassen gegen einen einzelnen Leiter lange Funken überspringen. Bevor Beruhigung des gestörten elektrischen Gleichgewichts eintritt, schwingt die Elektricität im Leiter einige Male sehr rasch hin und her, gewöhnlich viele Millionen mal per Secunde, und erzeugt die mit Lichtgeschwindigkeit in den umgebenden Isolator wellenförmig enteilenden, transversal oscillirenden Verschiebungsströme. Senkrecht dazu, aber gleichfalls transversal pendelt eine magnetische Schwingung, da ja jeden Strom magnetische Kräfte begleiten müssen.

An die genau studirten kurzen Aetherschwingungen der Wärmestrahlen, welche uns besonders in ihrem kleineren optisch wirksamen Bezirk durch den Cohärer unseres Organismus, das Auge, altbekannt sind, reihen sich nun seit Hertz die langsamen Schwingungen der viel längeren elektrischen Wellen. Noch gähnt der Grössenordnung nach zwischen beiden eine grosse Lücke. Die längsten Wärmewellen zeigten Rubens und Aschkinass mit 6 Hundertstel Millimeter und einer Schwingungszahl von 5 Millionen Millionen per Secunde, so dass diese alten, sogenannten Aetherschwingungen ca. 10 Octaven umfassen, wovon unser Auge nur etwa eine Octave sehen kann. Von der anderen, der elektrischen Seite her ist die kürzeste elektro-magnetische Welle von Lampa mit 4 Millimetern dargestellt worden, was einer Schwingungszahl von 75 000 Millionen entspricht. —

Die Hoffnung, den noch unausgefüllten Zwischenraum von ca. 6 Octaven jemals gänzlich zu überbrücken, ist derzeit eine ziemlich vage. Mit den Wärmewellen sind wir wohl am Ende. Theoretisch machte dies W. Wien und experimentell Rubens und Aschkinass wahrscheinlich. Es muss natürlich zwischen dem Wärmestrahlen aussendenden Molecül und der Wellenlänge ein gewisses Verhältniss bestehen; der Grössenordnung nach etwa vergleichbar dem einer Meereswelle und eines darauf schwimmenden Korkes. Dass die Schwingungen in einem kleinen Molecül, oder selbst in Molecülgruppen so langsam würden, dass Wellen von einigen Millimetern zu Stande kämen, ist kaum zu erwarten. So war es auch ein vergebliches Bemühen, in der Sonnenstrahlung längere Hertz'sche Wellen zu suchen. Umgekehrt erscheint es so schon merkwürdig, dass ein schmales Platinstreifchen von etwa

1 Millimeter Länge den technischen und theoretischen Bedingungen eines Hertz'schen Erregers entsprechen kann. Weiter wird man wahrscheinlich auch hier, wenigstens mit den biserhigen Mitteln nicht gehen können. Vielleicht gelingt es einmal mit Oberschwingungen.

Aber schon der bis jetzt erreichte technische Fortschritt in der Erzeugung und Wahrnehmung kleiner elektrischer Wellen — hier wäre besonders Lebedew und Bose zu nennen — ermöglichte es, fast alle optischen Phänomene in entsprechenden Versuchen mit elektrischen Wellen nachzuahmen.

Dieses Gebiet taufte Righi, der es systematisch und mit grösstem Erfolg bearbeitete, mit einem, wenn auch philologisch nicht ganz genauen, so doch ungemein bezeichnenden Namen: Optik der elektrischen Oscillationen. Es ist dieser Theil des Nachlasses von Hertz wohl der berühmteste, der bekannteste; ich darf mich somit an dieser Stelle kurz fassen. Alles stimmt. Eine Riesenarbeit der verschiedensten Forscher, eine Fülle von Fleiss und Scharfsinn ermöglichte das. — Righi nennt in seinem diesbezüglichen Referate für den vorjährigen Pariser Physiker-Congress über 40 Namen, darunter solche besten Klanges. — Hatte Hertz selbst die Reflexion, Brechung, einige Polarisationserscheinungen, sowie vor Allem Interferenz zwischen dem directen und dem vor einer Metallwand reflectirten Strahl gezeigt, wodurch er den Beweis der Lichtgeschwindigkeit elektrischer Wellen erbrachte, so lieferte die weitere Verfolgung solcher optischen Analogien die totale Reflexion, Nachahmung der wichtigsten optischen Interferenzphänomene, Beugung, Doppelbrechung etc. — Speciell die durch Reflexion erzeugten Polarisationserscheinungen ergaben in Verbindung mit der Maxwell'schen Theorie und mit den Photographien stehender Lichtwellen von Wiener, dass die elektrischen Verschiebungsströme als die optisch wirksamen Schwingungen senkrecht zur Polarisationsebene stehen. Damit ist eine lange Zeit ungelöste optische Frage entschieden.

Gewisse Unterschiede zwischen optischen Erscheinungen und deren elektrischen Analogien erweisen sich meistens als nothwendige Folge der Grössenverschiedenheit optischer und Hertz'scher Wellen. Man kann dann eine optisch-elektrische Analogie oft in der Weise erzwingen, dass man den zu grossen elektrischen Wellen grössere, d. h. künstliche Molecüle entgegenstellt. Eigentlich ist ja jeder Resonator, der die einfallenden elektrischen Wellen absorbirt, schon ein Molecülmodell. So fand Garbasso Reflexion an Metallstreifen nur, wenn deren Schwingungsperiode mit der des Erregers übereinstimmte. Von sonstigen Versuchen mit künstlicher Nachahmung molecularer Eigenschaften sind wohl besonders nennenswerth die über Polarisationserscheinungen. Auch hier ist Hertz mit seinem künstlichen Turmalin, dem Absorptionsgitter, vorausgegangen. Bose gelang es mit einer Scheibe von Papierstreifen,

wie sie beim Morseapparat gebraucht werden, das dunkle Kreuz eines optischen einaxigen Krystalles und mittels eines Bündels gedrillter Jutefasern Drehung der Polarisationsebene nachzuahmen.

Noch interessanter erscheint aber die Auswerthung dieser Ergebnisse Hertz'scher Wellen durch rein optische Versuche. Hier haben wir wieder eine Art künstlicher Molecüle, welche wir aber jetzt nicht mit elektrischen, sondern mit Wärmestrahlen behandeln. du Bois und Rubens verwendeten das Hertz'sche Drahtgitter in Miniaturform zur Polarisation langer Wärmestrahlen, und später zeigten dann Rubens und Nichols Resonanzerscheinungen ihrer langen Wärmewellen an unendlich kleinen Resonatoren. — —

Die bisher betrachteten transversalen elektrischen Wellen pflanzen sich, bevor sie an das reflectirende oder brechende Medium gelangen, im Luftraum fort. Da Luft und der leere Raum in ihren elektrischen und magnetischen Eigenschaften kaum differiren, würden die Erscheinungen im Vacuum fast genau die gleichen sein. Wir sprechen darum oft von Luftwellen, zwar nicht ganz correct, aber bequem, im Gegensatz zu den Drahtwellen, welche wir nun erörtern müssen. Selbstredend ist es weder die Luft, noch der Draht, die schwingen, sondern die elektrischen Kräfte in diesen Substanzen.

Dass eine elektrische Störung sich im Draht mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzt, errechnete schon Kirchhoff 1857 mit den Formeln der alten Elektrodynamik. Als Hertz aber dann die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Wellen in Luft und in Drähten experimentell verglich, fand er erstere grösser. Es ist dies das einzige Mal dass unser grosser Forscher irrte. Und dies ist bezeichnend für den Experimentator: das Versuchsergebniss war ihm lex suprema, trotz seiner vorgefassten Meinung und Hoffnung. — „Bei allem Glück", so sagt er selbst, „hatte ich gerade in dieser Untersuchung entschieden Unglück". Doch erlebte Hertz noch die experimentelle Richtigstellung dieser Fragen durch Sarasin nnd de la Rive, welche die Geschwindigkeit in Draht und Luft gleich fanden.

Seither hat sich das theoretische und experimentelle Studium der Drahtwellen ungemein vertieft. Während Hertz in seinen einschlägigen theoretischen Betrachtungen den Drahtdurchmesser unendlich dünn annahm und, um auf die Lichtgeschwindigkeit zu kommen, die weitere — in diesem Grenzfalle sogar unrichtige — Annahme machte, dass die Richtung der elektrischen Kraft aussen auf dem Drahte senkrecht stehe, berücksichtigt Poincaré zwar die Drahtdicke, hält aber an letzterer Prämisse fest, d. h. er nimmt gleichfalls von vorn herein Lichtgeschwindigkeit an. Ein constanter Strom durchfliesst den ganzen Drahtquerschnitt gleichmässig. Wechselströme aber bevorzugen um so mehr die äusseren Schichten, je rascher sie oscilliren. Hertz'sche Schwingungen gleichen hier fast statischen Ladungen, die ja ganz auf der Oberfläche bleiben.

HERTZ brachte diesbezüglich qualitative Versuche, und durch Anwendung einer überaus geistreichen Methode gelang es V. BJERKNES, sogar die Tiefe, bis zu welcher solche rasche Wechselströme in den Draht eindringen, experimentell zu zeigen. HEAVISIDE und POYNTING interpretirten gleichzeitig die MAXWELL'schen Gleichungen dahin, dass die elektrische Kraft, welche den Strom verursacht, nicht im Drahte selbst weiterschreitet, sondern von dem umgebenden Raume aus in den Draht eindringt. Dann müssen natürlich auch bei einem constanten Strome fortwährend solche Wanderungen der Energie stattfinden.

Eine exacte Theorie der Drahtwellen lieferte J. J. THOMSON und später, erstere Theorie in gewissem Sinne ergänzend, SOMMERFELD. Letzterer berechnet den Verlauf der elektrischen Kraft längs eines geraden, beiderseits ins Unendliche gehenden Drahtes. Es zeigt sich, dass die Schwingungszahl, der Drahtdurchmesser und dessen Leitfähigkeit von grossem Einfluss sind. Die Verschiebungsströme pflanzen sich längs des Drahtes, senkrecht zu diesem pendelnd, fort. Am Fusspunkte scheinen sie in die Oberfläche des Drahtes hineingeknickt. Ist der Draht ein sehr dünner und schlechter Leiter, so wird die elektrische Kraft im Aussenraume ganz schief, an den Fusspunkten wie durch Reibung zurückgehalten; die Drahtwellen werden kürzer; es kann also in solchem Ausnahmsfalle die Geschwindigkeit im Drahte wirklich viel (bis 25 Proc.) kleiner sein, als in der Luft. Eine experimentelle Darstellung dieser Verhältnisse versuchte jüngst BARKLA.

Beim Experimentiren verwenden wir jedoch fast immer zwei parallele Drähte. Die transversale Aetherwelle läuft zwischen diesen Drähten, parallel zu denselben sich fortpflanzend, indess die Richtung der Verschiebungsströme, der elektrischen Kraft, senkrecht zu der Drahtoberfläche ist. Das Eindringen der elektrischen Kraft in die Drähte erfolgt hauptsächlich an den einander zugewendeten Seiten. MIE hat diese Fragen für unendlich lange Drähte theoretisch untersucht.

Praktisch haben wir aber immer Drahtenden, und da treten nun Reflexionen ein mit Phasen- und Amplitudenänderung, und die Interferenz des directen und reflectirten Strahles ruft neue Erscheinungen hervor, deren experimentelles und theoretisches Studium noch manche Frage zu lösen hat.

Um zwischen und in solchen parallelen Drähten elektrische Schwingungen zu erzeugen, haben wir hauptsächlich zwei Methoden. Wir können die Koppelung der Paralleldrähte an den Erreger entweder durch elektrostatische Influenz oder durch elektromagnetische Induction erreichen. Handelt es sich um den Einfluss von Capacitätsänderungen, so ist erstere Methode besser, während letztere Methode von BLONDLOT an Intensität der erzeugten Schwingung besonders für kurze Wellen überlegen ist. Ueberbrückt man dann die Drähte an einer oder mehreren Stellen und misst die Stärke der Schwingungen in beliebiger

Weise mittelst irgend eines Wellenindicators, am bequemsten vielleicht durch das Leuchten einer ausgepumpten Glasröhre, so kann man durch Verschieben der Brücken verschiedene, mit einander in Resonanz stehende Drahtsysteme abgrenzen, welche direct den elektrischen Wellenlängen oder Vielfachen derselben entsprechen. —

Die Untersuchung dieser Drahtwellen ist an und für sich interessant, auch ohne Rücksicht auf deren zahlreiche Verwendungen.

Die Wechselwirkung des abgegrenzten Drahtleiters, des Secundärsystems, und des erregenden Primärsystems hat v. Geitler und später M. Wien studirt. Primär- und Secundärleitung senden im Allgemeinen zwei Grundschwingungen aus, die desto verschiedener sind, je enger das System gekoppelt ist. Drude, welchem dieses Gebiet zahlreiche theoretische und experimentelle Arbeiten verdankt, glaubt auch für den Erreger selbst mehrere harmonische Obertöne annehmen zu sollen, welche dann Lamotte experimentell nachwies. —

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit brauchen wir neben der direct abzulesenden Wellenlänge noch die Schwingungsdauer. Letztere kann man aus den Dimensionen des Erregers nach der Kirchhoff-Thomson'schen Formel berechnen. Man kann aber auch directe Messungen vornehmen, indem man die von einem schnell rotirenden Spiegel reflectirten Funkenbildchen photographirt. Das trieb man bis zu ziemlich raschen Schwingungen. So arbeitet z. B. Saunders mit 190 Millionen Schwingungen pro Secunde. Doch sind solche auch von anderen Forschern vorgenommene Messungen am Drehspiegel — es handelt sich schliesslich um die Bestimmung der kleinen Distanz zweier Funkenbildchen auf der photographischen Platte — immer sehr heikel. Maltby hingegen suchte die Richtigkeit obiger Formel bis 290 Millionen Schwingungen pro Secunde durch eine eigenthümliche Schaltung der Wheatstone'schen Brücke zu bestätigen. Hier wäre auch noch der Versuch von Richarz zu nennen, welcher die Braun'sche Röhre zur Beantwortung einschlägiger Fragen heranzog.

Das Studium des Erregers ist seit Hertz ebenfalls wesentlich erweitert worden. Hertz selbst gab die Theorie des linearen Erregers mit Ausnahme eines kleinen, das Schwingungscentrum enthaltenden Raumes. Dass hier die scheinbar unendliche Geschwindigkeit der magnetischen Kräfte am Beginn nur Folge einer fortschreitenden Phasenänderung ist, zeigte Abraham. Auch die Dämpfung eines solchen Oscillators bestimmt Hertz theoretisch, und als klassisch dürfen wohl die schönen diesbezüglichen Versuche von V. Bjerknes gelten.

Im geradlinigen Leiter zucken rasche Wechselströme hin und her, ungeschlossen nach der alten Theorie, nach Maxwell aber aussen geschlossen durch die Verschiebungsströme im Aether. Diese verursachen die Strahlung, und die dadurch bewirkte Energieabnahme ist der Grund der Dämpfung. Hier ist einer der Punkte, wo die alte Elektrodynamik

versagt. Je grösser die Dämpfung, desto besser ist der Erreger. Schon nach ein paar Oscillationen hört aber die Strahlung auf. Die Energieabgabe während der Zeitdauer eines Funkens, die leider nur z. B. einige 100 Milliontel Secunden andauert, entspricht z. B. einer gleich kurzen Arbeitsleistung von etlichen 50 Pferden; noch in 10—20 m Distanz ist die Strahlung gleich der Sonnenstrahlung an unserer Erdoberfläche. Dann haben wir eine lange, lange arbeitslose Pause, bis ein neuer Funke neuerliche Erregung der Schwingung und neuerliche Strahlung erzeugt. Diese Pause zu verkürzen, wird um so schwerer, je rascher die elektrischen Schwingungen sind. Für längere Wellen hat Tesla in seinen Aufsehen erregenden Versuchen Einiges erreicht, auch Braun in seinem System für drahtlose Telegraphie; für kurze, eigentlich Hertz'sche Wellen kann man aber von einem Fortschritt kaum sprechen: es fehlen Apparate, welche die entladene Elektricität rasch genug nachschieben könnten. Auch die Energie einer kurzen Schwingung durch hohe Spannung zu vermehren, geht nicht an, weil noch vor Erreichung dieser Spannung der entladende Funke selbst durch Oel oder dergleichen überklatscht. — Hier steckt unsere Technik noch in den Kinderschuhen im Hinblick auf jene glänzende Lösung des Problems, welches uns die Natur in den glühenden Körpern zeigt. Denn da wird der Strahlungsverlust durch fortwährende Energienachfuhr gedeckt, so dass z. B. 1 Quadratmeter der riesigen Sonnenoberfläche in jeder Secunde eine Arbeit von ca. 45000 Pferdekräften ausstrahlt.

Lassen wir die Elektricität aber in einem geschlossenen Leiter schwingen, so können wir allerdings mit einer einzigen Anregung auf einige 100 bis 1000 Oscillationen rechnen, aber nur darum, weil keine Strahlung stattfindet. Die kleine Dämpfung ist Folge des Leitungswiderstandes. Ein solch' geschlossener Leiter wird sehr geeignet sein, Wellen zu absorbiren, besonders wenn er in seiner eigenen Schwingungsperiode mit denselben resonirt, ganz so, wie in der Akustik oder in der Optik beim Kirchhoff'schen Gesetz von der Gleichheit der Emission und Absorption.

Planck unterscheidet consumptive Dämpfung, wenn Wellenenergie in Wärme sich umsetzt, und conservative Dämpfung, wenn z. B. ein stabförmiger guter Leiter, im Wellenzuge liegend, die absorbirte Wellenenergie wieder als Wellenenergie weitergiebt. Bei nicht zu dünnen Leitern wird theoretisch mit steigender Schwingungszahl die Dämpfung durch Stromwärme immer kleiner und die Strahlungsdämpfung immer grösser. Lagergren versuchte den experimentellen Nachweis hierfür. In einer eingehenden theoretischen Erörterung zeigt Abraham, dass ein stabförmiger Erreger eine unendliche Anzahl nahezu harmonischer Obertöne aussenden kann, welch' letztere, rascher schwingend und daher stark gedämpft gegen die Grundschwingung, schnell verklingen müssen. So konnte Decombe im Drehspiegel nur eine einzige Schwingung nach-

weisen, indess Kiebitz — weil die Strahlung ausnützend — jüngst bis zur achten Oberschwingung vozudringen vermochte.

Hatten seinerzeit Sarasin und de la Rive die Behauptung aufgestellt, dass ein Hertz'scher Erreger eine Art von continuirlichem Spectrum besässe, so erwies sich diese sogenannte multiple Resonanz als Irrthum, wie gleichzeitig Poincaré und V. Bjerknes zeigten. Alle geschilderten Theorien können höchstens ein Linienspectrum ergeben. So versucht Koláček, die elektrische Schwingung in einer Kugel, die zuerst von J. J. Thomson ausführlich berechnet worden war, unter gewissen, nicht unwahrscheinlichen Annahmen mit der optischen Spectralregel von Kayser und Runge in Beziehung zu bringen. Man hat natürlich oft den Versuch gemacht, aus den bekannten Dimensionen des Molecüls auf die wirkliche Länge der Licht- und Wärmewellen zu kommen. Im Anschluss an Ideen von Stoney, Richarz und Anderen hat Ebert z. B. mit Zuhülfenahme des von E. Wiedemann gefundenen Leuchtenergieinhaltes glühenden Natriums die Grösse der Valenzladungen errechnen können. Man findet in derartigen Untersuchungen immer ziemlich gute Uebereinstimmung. —

Trotzdem sind manche Erscheinungen des Hertz'schen Erregers anders als analoge des Molecüls, weil wir ein solches nie einzeln zu packen und im Raum zu fixiren vermögen, und weil die Oscillationen im Molecüle durch viele Hunderttausende von Schwingungen ungeschwächt bleiben. Nur wenn wir unzählige elektrische Erreger, nach allen Richtungen orientirt oder beliebig durcheinanderwirbelnd und im engen Raum nahe aneinandergedrängt, möglichst dauernd schwingen lassen könnten, bekämen wir ein Analogon für gewöhnliches weisses Licht. Wir hätten nach Poincaré eine wirkliche Synthese des Lichtes, ein unendlich grobes Auge vorausgesetzt, das ohne Detail nur ein Sinnenintegral des gesammten Phänomens empfinden würde. Darum sind auch einige Erscheinungen der elektrischen Strahlen, z. B. die interessanten Righi'schen Secundärwellen, eine Interferenz der directen und der von Resonatoren und Dielektricis geänderten Wellen, optisch ohne directe Analogie. — — —

Die bisher geschilderte Entwicklung der Hertz'schen Entdeckungen nahm so ziemlich den erwarteten Verlauf. Manche Schwierigkeit musste überwunden werden, manche freudige Ueberraschung lohnte die Mühe, man kann aber hier von wesentlichen Complicationen kaum sprechen. Es ist Alles in Allem eine glänzende Bestätigung der elektromagnetischen Lichttheorie.

Sehen wir ab von einigen Detailtheorien über moleculare Strahlung, so hatten wir es bisher hauptsächlich mit Aetherwellen in Luft oder längs Drähten zu thun, und verhältnissmässig sicher wies sich uns der Weg, gleich dem Schiffer auf hoher See, solange er die wogende Brandung an starren Felsen meidet. Die weite Ferne von Klippen und Riffen

glättet den Wellengischt, und glatt scheinen von draussen die Küsten. Der Entdecker muss aber landen, er muss hinein, hindurch durch den Kampf von Meer und Land.

So harrt auch unser härtere Arbeit, wenn wir aus den glatten Aetherregionen vordringen in die zerklüftete, in Molecüle und Atome gespaltete Materie. Eine sichere Thatsache jedoch steht hier einem wegweisenden Leuchtthurm gleich an den Grenzlinien unserer heutigen Betrachtung: die schönen Versuche von Zeeman über den Einfluss magnetischer Kräfte auf die Spectrallinien leuchtender Gase, unter den Entdeckungen nach Hertz wohl eine der wichtigsten. — Ich muss mich um so mehr damit begnügen, dieselbe nur genannt zu haben, als ich ja selbst im eigentlichen Bereich der Hertz'schen Wellen manche wichtige Arbeit auch von Forschern ersten Ranges übergehen muss. —

Dehnen wir unsere elektrischen Analogien nun auf Erscheinungen aus, in welchen besondere Eigenschaften der verschiedenen Molecüle durch die optischen Wellen aufgedeckt werden, z. B. auf die Farbenzerstreuung, oder auf spectrale Absorptionserscheinungen und dergleichen, so finden wir manche Schwierigkeit. Hier hatte schon die Optik vor Hertz kein leichtes Spiel. Immerhin aber gelang es, diese Fülle verschiedener Fälle in eine befriedigende optische Formel zu zwingen.

Die Maxwell'sche Lichttheorie in ihrer Urform gilt nur für eine Wellenlänge. Sie weiss nichts von selectiver Absorption, von Dispersion und dergl. Wohl hatte der Meister selbst eine diesbezügliche Erweiterung geliefert, doch blieb dieselbe bis 1889 verschollen. Die aus dem Jahre 1885 stammende elektromagnetische Dispersionstheorie von Koláček zeichnet sich durch Einfachheit der Prämissen aus. Das Molecül ist eine Art von elektrischem Resonator, welcher die Absorption und Dämpfung des einfallenden Wellenzuges besorgt. Ein Modell dieser Vorstellung lieferten später Garbasso und Aschkinass, die einen prismatischen Raum mit stabförmigen Resonatoren ausfüllten und damit prismatische Brechung und Dispersion der elektrischen Strahlen erzielen konnten. Die elektromagnetische Dispersionstheorie von Helmholtz lehnt sich einerseits mehr an elastisch-mechanische Vorstellungen an, andererseits geht sie weiter; die einstreichenden Wellen versetzen die mit einer bestimmten Elektricitätsmenge a priori geladenen Molecültheile, die sogenannten Ionen, in mechanische Schwingungen, welche je nach Resonanz stärker oder schwächer sind. Die elektromagnetische Schwingung im Raume wird gleichsam beschwert durch die mitschwingenden Ionen. Letztere senden ihre elektrischen Kräfte in die Unendlichkeit des Raumes hinaus, wodurch die Verkettung von Materie und Aether ermöglicht wird. —

Diese elektromagnetischen Lichttheorien sind gleichsam nur ein allgemeiner Fall der alten elastischen Theorien. Es müssen die in analogen Gleichungen auftretenden analogen elektrischen und elastischen

Grössen in einfacher Beziehung stehen. Hoffentlich gelingt es einmal, durch gewisse Modificationen in den alten Fresnel'schen Aetherschwingungen, ein richtiges Bild der Verschiebungsströme Maxwell's zu erhalten. Beide Begriffe einfach zu identificiren, geht leider nicht an. Es führt das im weiteren Verfolge zu Schwierigkeiten.

Man war eben daran, zu zeigen, dass unsere elektromagnetischen Dispersionsformeln für das Gebiet der Wärmestrahlen experimentell richtig sind.

Und da kommt Hertz als Störenfried und erweitert diese altbekannten Aetherschwingungen ins Unendliche. Solche Störungen werden aber jeder Wissenschaft zum Segen. Hatten schon die alten optischen Wellen ein glänzendes Mittel zum Erkennen mancher molecularen Eigenschaften geliefert, so dürfen wir nun wohl auch voll Hoffnung die neuen, wenn auch infolge ihrer Grösse etwas ungelenkeren elektrischen Schwestern in den Dienst der physikalisch-chemischen Forschung stellen. —

Aus der elektromagnetischen Lichttheorie folgt, dass in unmagnetischen Isolatoren das Quadrat des optischen Brechungsexponenten gleich sein müsse der Dielektrisirungszahl. Dieses Gesetz stimmt aber nur für wenige Körper, besonders Gase, die hauptsächlich Boltzmann mit glücklichem Griffe schon 1874 herausgeholt hatte.

Die erste Hoffnung, dass die Uebereinstimmung allgemein würde, wenn man die ursprünglich nach statischen Methoden gemessene Dielektrisirungszahl mit sehr raschen Schwingungen bestimmte, weil dann Rückstandsbildung, eventuelle Leitfähigkeit und Polarisation weniger störten, erwies sich als falsch. Da formulirten Graetz und Fomm zuerst klar den Begriff der elektrischen Dispersion. Wie der Brechungsexponent ist auch die Dielektrisirungszahl keine Constante, sondern ändert sich mit der Schwingungsdauer. Das Maxwell'sche Gesetz ist nur richtig, wenn sowohl die Dielektrisirungszahl als auch der Brechungsexponent von ein und derselben Wellenlänge in Beziehung gebracht werden. Ueberdies muss der untersuchte Körper ein unmagnetischer Isolator sein. Nun complicirt sich die ganze Sache dadurch, dass bei Beurtheilung der Isolationsfähigkeit die gewöhnliche statische Isolation ganz gleichgültig ist. Man muss auch die Leitfähigkeit für die betreffende Schwingungszahl besonders untersuchen. Den durchsichtigen Alkohol z. B. nannten wir bisher mit Recht einen Isolator, während er für Hertz'sche Schwingungen eine ziemlich grosse Leitfähigkeit besitzt und undurchsichtig wird. Solche Unregelmässigkeit, anomale Absorption genannt, tritt sehr häufig auf, nach Drude fast immer, wenn das Molecül eine Hydroxylgruppe enthält, oder wenn in isomeren Reihen das Moleculargewicht steigt. —

Wir sehen, wie zahlreich die Factoren sind, die hier gleichzeitig ins Spiel kommen. Man darf also die Dielektrisirungszahl nicht einfach nach den alten statischen Methoden messen.

Von anderen Methoden sei zunächst die von NERNST erwähnt, welche die Dielektrisirungszahl und gleichzeitig eine nicht allzu hohe Leitfähigkeit für Schwingungen bis 10 Millionen per Secunde zu messen gestattet. Zu gleichem Endzweck verwendeten GRAETZ und FOMM die Drehbewegung eines schief gegen ein homogenes Wechselfeld gebrachten Dielektricums.

Am bequemsten aber erwies sich bisher die Bestimmung mittelst Drahtwellen, deren abgebrückte Secundärleitung mit dem Versuchscondensator in Verbindung steht. Entweder lässt man die Schwingung der Drahtwellen ungeändert und variirt die Distanz der Condensatorplatten, zwischen welche die verschiedenen Dielektrica gebracht werden, oder noch besser, man lässt letztere Distanz stets ungeändert und variirt die Drahtlängen, bis irgend ein Wellenindicator, eine passende luftleere Glasröhre oder Analoges, neuerliche Resonanz anzeigt. Diese Methode gelangte nach manchen Irrfahrten in die Hände DRUDE's, welcher dieselbe zu grösster Vollendung gebracht hat. Nicht nur, dass die Aenderung der Drahtlängen die Dielektrisirungszahl ergiebt, eine entsprechende Auswerthung der Intensität des Aufleuchtens der Röhre liefert zugleich ein Maass für die Absorption der Schwingung im Condensator.

So kann man die Dielektrisirungszahl und Absorption für grosse Gebiete verschiedener Wellenlängen leicht erhalten. —

Wie aber bestimmen wir die entsprechenden Brechungsexponenten? Zunächst genau, wie man optische Brechungsexponenten gefunden hat. Hatte schon HERTZ die Brechung seiner Wellen durch ein Prisma gezeigt, so gelang es mittelst der modernen, viel kleineren elektrischen Wellen, die Brechung in Prismen aus verschiedenem Material direct zu messen; doch stören hier Absorption und vor Allem die sehr starke zweimalige Reflexion. Immerhin ist diese Methode für kleine elektrische Wellen, sehr brauchbar. Auch viele andere optische Versuche, welche den Brechungsexponenten liefern, z. B. Totalreflexion und dergleichen, können natürlich in ganz analoger Weise, mit elektrischen Wellen behandelt, den Brechungsexponenten für verschiedene elektromagnetische Wellen liefern, den sogenannten elektrischen Brechungsexponenten. v. LANG greift sogar auf eine akustische Analogie, die QUINCKE'sche Interferenzröhre, zurück. Die elektrischen Luftwellen eilen nämlich durch eine hohle Metallröhre, ganz so, wie ein Lichtstrahl durch die Wassersäule der fontaines lumineuses; nur hängt die Länge der elektrischen Welle vom Durchmesser der Metallröhre ab.

Die meisten und besten Resultate verdanken wir aber auch hier wieder den Drahtwellen. Da streicht die Welle zunächst in Luft hauptsächlich im Zwischenraume der zwei parallelen Drähte hin. Die Fortpflanzung geschieht mit der Geschwindigkeit des Lichtes längs der Drahtrichtung. Die Schwingung ist transversal, die elektrischen Kräfte

stehen senkrecht auf der Drahtoberfläche, in diese von aussen eine Art longitudinaler Stromwelle hineintragend. Betten wir nun einen grossen Theil dieser Doppeldrähte in ein anderes Dielektricum, so streicht die Welle jetzt wieder wie früher zwischen den Drähten dahin, aber die Geschwindigkeit ist eine kleinere, die Wellen werden im Dielektricum so viel mal kürzer, als die jetzige Fortpflanzungsgeschwindigkeit kleiner ist, als die frühere in Luft. Das Verhältniss dieser beiden Wellen ergiebt das Verhältniss der Geschwindigkeiten oder den elektrischen Brechungsexponenten. Die bei Beobachtung eines längeren Wellenzuges auftretende Aenderung der Leuchtintensität des Wellenindicators liefert auch hier nebenbei die Dämpfung, d. h. Absorption für die beobachtete Wellenlänge.

Durch die emsige Arbeit zahlreicher Forscher ist diese Methode von all' den Fehlerquellen, welche zuerst die Resultate trübten, befreit und besonders durch Drude und dessen Schule in zahlreichen Versuchen ausgearbeitet und in Verwendung gezogen worden. —

So wurden von vielen Körpern, von Wasser und besonders von organischen Flüssigkeiten, die Dispersionsverhältnisse für Wellen von 14 Metern bis zu einigen Millimetern planmässig verfolgt. Entspricht die Leitfähigkeit solcher raschen Schwingungen der gewöhnlichen Leitfähigkeit, so ist der Einfluss der Schwingungsdauer minimal, wir haben normale Dispersion, welche ja auch in der Optik ausserhalb des Absorptionsgebietes herrscht. Im Gegenfalle sprechen wir mit Drude von einer dielektrischen Anomalie, d. h. einer gleichzeitigen anomalen Absorption und Dispersion. Die elektrischen Brechungsexponenten werden dann im Vergleich zu den optischen ganz ungewöhnlich gross. Sehr merkwürdig ist auch, dass ein durchsichtiger Isolator, wie z. B. Alkohol, lange elektrische Schwingungen von mehreren Centimetern absorbirt; denn jeder Resonator, also auch das Alkoholmolecül, absorbirt in erster Reihe seine Eigenschwingung. Nun ist es mehr als unwahrscheinlich, dass selbst ein complicirtes Molecül so langsam schwingen und so lange Wellen ausstrahlen kann. Darum sah Drude schliesslich von den Molecülschwingungen ganz ab und denkt, analog einer zuerst mittelbar durch Nernst gegebenen Vorstellung, an die Anwesenheit kleiner Bestandtheile von gewisser Leitfähigkeit in isolirender Umgebung.

Umgekehrt kann man an eine Zerstreuung einfallender Wellen durch isolirende Körper denken. Lamb führte diesbezügliche schwierige Rechnungen im Anschlusse an Vorarbeiten von Lord Rayleigh, Love und Walker für isolirende Kugeln durch und erhält so scharf begrenzte Absorptionsgebiete.

Einen anderen Gesichtspunkt in diesem Gebiete liefern die Versuche von Dewar und Fleming. Schon Cohn hatte für das Intervall von 9—35° C. den grossen Einfluss der Temperatur auf den elektrischen Brechungsexponenten des Wassers gezeigt. Die beiden englischen

Forscher untersuchten nun für die ganz langsamen Schwingungen von 30—200 pro Secunde die Dielektrisirungszahl verschiedener Substanzen bei sehr tiefen Temperaturen. Es sei zunächst das Verhalten des flüssigen Sauerstoffs erwähnt, welcher vier physikalisch interessante Eigenschaften gleichzeitig zeigt: er ist Isolator, durchsichtig, seine Dielektrisirungszahl ist anderthalbmal die des Vacuums, und seine Magnetisirungszahl ist grösser als eins. Hier stimmte die MAXWELL'sche Vorstellung genau. Aber auch Vaseline, Glycerin und andere Körper, welche dem MAXWELL'schen Gesetze, wenn man die früher gegebenen Betrachtungen ausschliesst, bei gewöhnlichen Temperaturen Hohn zu sprechen scheinen, zeigen sich bei — 185° C. schon ganz gefügig. FLEMING versucht eine Deutung dieser Erscheinung in folgender Ueberlegung: Das Molecül besitzt an seinen beiden Enden entgegengesetzte Ionenladungen, also eine Art von elektrischem Moment. Eine elektrische Kraft wird nun neben den von MAXWELL in Rechnung gezogenen Verschiebungsströmen auch noch eine Drehung der Molecüle einleiten müssen. Letzterer Energieverlust verursacht die Abweichungen, welche bei raschen Schwingungen wegen der zu grossen Trägheit der Molecüle schwinden und ebenso bei tieferen Temperaturen, weil dann das elektrische Moment der in grössere Gruppen geschlossenen Molecüle wegfällt. Dasselbe kann aber auch bei hohen Temperaturen wegfallen, weil dann die Ionen getrennt sind. Allerdings dürften für diese Erklärung die Absorptionsstreifen eine gewisse Complication verursachen. Bei solch tiefen Temperaturen untersuchten auch ABEGG und SEITZ die Dielektrisirungszahl verschiedener Alkohole. Ihre Resultate stimmen im Allgemeinen mit den eben genannten, doch ergaben sich merkwürdige Modificationen der Substanzen, welche ein abschliessendes Urtheil erschweren.

Damit glaube ich die Hauptpunkte der elektrischen Dispersion berührt zu haben. — Leider ist, was die Versuchsergebnisse selbst der bestbewährten Forscher anlangt, noch manche Differenz zu schlichten.

Aber auch richtige und übereinstimmende Resultate vorausgesetzt, ist hier die theoretische Deutung sehr verwickelt. Leichter war es, solange wir im Aether mit dem einheitlichen Raumcontinuum arbeiten durften. Wie wir aber im zweiten Theil unseres Vortrags in das intimere Wechselgebiet von Aether und Materie eindrangen, traten die Inhomogenitäten der Materie ins Spiel, Molecüle und Atome, Dinge, welche ob ihrer Kleinheit sich der directen Sinneswahrnehmung wohl ewig entziehen werden.

Hier sind wir im Reiche der Phantasien, der Hypothesen, und diese erlauben unserem Geiste, die Zerkleinerung der Materie nach Bedürfniss beliebig weit zu treiben. Man hat so das Atom, das Unzerschneidbare, durch passende Versuchsdeutungen noch weiter getheilt und diesen

Theilen a priori elektrische Ladungen verliehen. Auf Umwegen versuchte man sogar die Grösse dieser Atomsplitter und ihrer Ladungen zu bestimmen.

Diese neueste, noch im Werden begriffene Entwicklung physikalischen Denkens geht über die viel einfacheren von Hertz behandelten Probleme hinaus. Die Zahl der Wechhselbeziehuugen zwischen Licht, Elektricität und Materie ist gross —, hoffentlich viel, viel grösser, als unserem derzeitigen Wissen entspricht. Diese alle einheitlich zu umspannen, ist das wohl nie zu erreichende Schlussideal der Physik, angestrebt von den Ersten unseres Faches. —

Wie der Kleinkrämer einstiger Tage im engen Kreise seines Städtchens oder Ländchens noch Verdienst suchen und finden konnte, indess unsere grossen Handelsfürsten von heute weiten Blickes die Conjunctur der ganzen Welt benützen, so wird auch nur der Naturforscher in Zukunft Grosses leisten, der, ausgestattet mit dem modernsten Raffinement einschlägiger Hülfswissenschaften, trotz pedantischer Emsigkeit im Kleinen den Wagemuth und die Fähigkeit aufbringt, die ganze Welt seiner Disciplin einheitlich zu denken. In diesem Sinne leistete Hertz wirklich Grosses. Denn die nur in theoretischen Träumen erahnte Verbindung zweier Riesencontinente unserer Wissenschaft, von Optik und Elektricität, endgültig hergestellt zu haben, ist sein unsterbliches Verdienst.

Ihnen, hochansehnliche Versammlung, den auf diesem Verbindungswege heute schon lebhaft hin- und herwogenden Verkehr flüchtig zu schildern, war meine bescheidene Reporterpflicht.

II.

Das Problem der Befruchtung.

Von

Th. Boveri.

Die Vorstellungen, die sich mit dem Wort Befruchtung verbinden, müssen so alt sein, als Menschen über sich nachdenken. Aus diesen Vorstellungen heraus, nicht aus Forscherarbeit nach tiefem Eindringen in das Wesen des Vorgangs hat sich der Begriff der Befruchtung entwickelt. Was wissenschaftliche Arbeit zunächst hinzufügte, war die Erkenntniss, dass das Zusammenwirken zweier Geschlechter bei der Erzeugung eines neuen Individuums, das man ursprünglich als eine Eigenthümlichkeit des Menschen und der höchsten Thiere ansah, durch die ganze organische Natur verwirklicht ist. Nicht nur die Entstehung des niedersten Wurms ist den gleichen Gesetzen unterworfen, auch für das Pflanzenreich musste die ungläubige Welt sich belehren lassen, dass der gleiche Gegensatz von männlich und weiblich besteht, dass auch der Pflanzenkeim zu seiner Entwicklung einer Befruchtung durch ein männliches Element bedarf. Bis zu den allerniedersten Organismen, den Einzelligen, herab hat schliesslich das Mikroskop die gleichen Erscheinungen der Paarung enthüllt.

Mag der Mensch das Problem nur vom Standpunkt seines Geschlechts aus betrachten, oder mag sich der wissenschaftliche Geist durch die Allgemeinheit der Erscheinung und den ungeheuren Aufwand, mit dem sie realisirt wird, zu immer neuen Antwortversuchen angetrieben fühlen, immer wird man hier eine Frage von höchster Bedeutung und unvergleichlichem Reiz anerkennen, und es darf wohl als eine Aufgabe würdig dieser Zusammenkünfte bezeichnet werden, von Zeit zu Zeit über den Stand zu berichten, den die Forschung auf diesem Gebiet erreicht hat So hat auf der Versammlung zu Lübeck der Botaniker KLEBS gewisse neue Seiten des Problems beleuchtet, in anderen Zusammenhängen und in äusserst umfassender Weise hat später der Anatom WALDEYER unsere

Frage behandelt, wieder von anderem Standpunkt aus gestatten Sie heute einem Zoologen, Ihren Blick auf die Vorgänge der Befruchtung zu lenken.

So viel sich von jeher Naturforscher und Philosophen mit unserer Frage beschäftigt haben, eine wissenschaftliche Lehre der Befruchtung hat uns erst das letzte Viertel des 19. Jahrhunderts gebracht. Im Jahre 1875 vermochte nach manchen wichtigen Vorarbeiten, von denen vor Allem diejenigen Bütschli's zu nennen sind, zum ersten Mal O. Hertwig bei niederen Meeresthieren, den Seeigeln, festzustellen, was beim Zusammentreffen des Samens mit den Eiern vorgeht. Noch heute kennen wir kein günstigeres Object, um im Leben diese wunderbaren, nach mancher Richtung seither noch genauer studirten Vorgänge zu verfolgen. Die Seeigeleier sind sehr klein, kaum $^1/_{10}$ mm im Durchmesser, und daher so durchsichtig, dass ihre Structuren und deren Veränderungen mit grösster Deutlichkeit wahrnehmbar sind. Mit Leichtigkeit erkennt man, dass jedes Ei eine Zelle ist, aus körnigem Protoplasma bestehend, mit einem hellen Bläschen, dem Zellkern. Das Ei hat keine Haut, sondern ist nur von einer äusserst wasserreichen Schleimhülle umgeben. Zu Millionen kann man fast zu jeder Jahreszeit den weiblichen Thieren reife Eier entnehmen, ebenso den Männchen reifen Samen als dicke milchweisse Flüssigkeit, und nun die beiden Zeugungsstoffe in Seewasser zusammenbringen. Wie fast im ganzen Thierreich sind auch bei den Seeigeln die Samenelemente jene schon vor mehr als 200 Jahren entdeckten und lange Zeit für parasitische Organismen gehaltenen „Spermatozoen", von denen wir seit etwa 50 Jahren wissen, dass auch jedes von ihnen, wie das Ei, eine Zelle ist. Freilich eine Zelle ganz aussergewöhnlicher Art. Winzig klein, lässt die „Samenzelle" einen vorderen dicken Theil, den sogen. Kopf, erkennen, der fast nur aus dem compacten condensirten Zellkern besteht. Ihm fügt sich ein kleines Knöpfchen an, das Mittelstück, und diesem endlich der bewegliche Schwanzfaden, dessen Schwingungen die Samenzelle in beständiger zielloser Bewegung erhalten.

Dies ändert sich, sowie man in Seewasser, das solche Spermatozoen enthält, ein Ei bringt. Nach wenigen Augenblicken sieht man die Samenzellen um die Eizelle versammelt. Mit dem Kopf voran dringen sie durch die Schleimhülle vor und suchen sich mit der Eioberfläche zu vereinigen. Aber nur ein einziges erreicht dieses Ziel, dasjenige, welches zuerst bis auf gewisse Entfernung der nackten Oberfläche des Eies nahe gekommen ist. Jetzt zeigt auch das schwerfällige Ei ein Streben nach Vereinigung. Es wölbt dem Spermatozoon einen Hügel entgegen, der dessen Kopf und Mittelstück umfliesst und damit ins Innere des Eiprotoplasmas aufnimmt. Fast im gleichen Moment aber verändert sich nun die ganze Eioberfläche; es entsteht eine relativ derbe Membran, die durch Wasseraufnahme aufgebläht wird und sich dadurch vom

Protoplasma weit abhebt, die Schleimhülle vor sich her schiebend. Damit sind alle übrigen Spermatozoen am Eindringen ins Ei verhindert.

Mit der Heranführung der Samenzelle an die Eizelle ist die Rolle des Schwanzfadens zu Ende, von Bedeutung im Ei sind nur Kopf und Mittelstück. Wenige Minuten, nachdem sie ins Eiprotoplasma aufgenommen und damit zunächst unsichtbar geworden sind, sieht man unter der Eintrittsstelle einen kleinen hellen Fleck auftreten, der dadurch sehr auffallend hervortritt, dass sich die Körnchen des Eiprotoplasmas zu radialen Bahnen um ihn anordnen. Hier kann man durch Behandlung des Eies mit gewissen Reagentien den Spermakopf nebst Mittelstück sichtbar machen. Der kleine compacte Kopf, der Kern der Samenzelle, wandelt sich allmählich in ein Bläschen um, das nun auch im Leben zu sehen ist, und das wir zum Unterschied von dem ursprünglichen Kern des Eies, dem Eikern, als Samenkern oder Spermakern bezeichnen. Er wandert, begleitet von der sich immer mächtiger ausbreitenden Strahlenfigur, gegen den Eikern und verschmilzt mit ihm; und mit diesem Stadium sind die specifischen Vorgänge der Befruchtung beendigt. Aus der grossen Eizelle und der winzigen Samenzelle ist eine Zelle entstanden, deren generelle Qualitäten sich in nichts von denen einer anderen typischen Zelle unterscheiden; und auch die Vorgänge, die sich nun abspielen, sind die gleichen wie in irgend einer Zelle, die sich theilt. Denn die unmittelbare Folge der Befruchtung ist eben, dass sich das Ei theilt. Der Kern wird im Leben unsichtbar, an seiner Stelle finden wir eine undeutliche Streifung, auf zwei Pole centrirt, von denen, wie von dem vorher einfachen Centrum, das den Spermakern begleitete, radiäre Linien nach allen Richtungen ins Protoplasma auslaufen. In der Richtung dieser dicentrischen Figur streckt sich das Ei und schnürt sich in der Mitte ein, in jeder Hälfte erscheint ein neuer Kern, dann trennt sich zwischen ihnen das Ei zu zwei Tochterzellen durch.

Damit hat die Embryonalentwicklung begonnen, und es wird nützlich sein, gleich hier in Kürze festzustellen, was für ein Process diese Entwicklung ist. Aus der Thatsache, dass das Ei eine Zelle ist, der fertige Organismus ein Complex zahlloser Zellen, ergiebt sich unmittelbar, dass die Grundlage der Embryonalentwicklung eine Zellenvermehrung sein muss. Nachdem sich das Ei, wie wir gesehen haben, in 2 Zellen durchgeschnürt hat, theilen sich beide wieder, so entstehen 4, aus diesen 8, dann 16, 32, 64 u. s. w., bis durch diese fortgesetzte Zweitheilung der jeweils vorhandenen Zellen alle die Millionen oder Billionen Zellen entstanden sind, die das neue Individuum zusammensetzen. Allein der Vorgang muss noch genauer bestimmt werden. Die fortgesetzte Zelltheilung liefert nicht einen regellosen Haufen gleichartiger Zellen, sondern das Ei einer jeden Thierart ist so beschaffen, dass die von ihm abstammenden Zellen auf jedem Stadium ganz bestimmte unter einander

verschiedene Qualitäten und eine entsprechende Stellung zu einander haben, so dass deren Abkömmlinge immer wieder, sei es durch die in jeder Zellenfolge liegenden eigenen Umänderungstendenzen, sei es durch gegenseitige Beeinflussung eine ganz bestimmte Configuration bestimmt qualificirter Zellen darstellen u. s. f., bis endlich der fertige Zustand erreicht ist, in welchem alle Zellen wie die Individuen in einem Staat zu höherer Einheit zusammenwirken.

Die unendliche Complication von Geschehnissen, die hierin liegt, berührt uns jedoch für unser Problem nicht weiter; es genügt, festgestellt zu haben, dass der fertige Organismus nicht etwa das umgewandelte und gewachsene Ei ist, sondern ein geordneter Complex zahlloser Nachkommen des Eies, cellulärer Individuen, von denen wieder einzelne zu Eiern oder Samenzellen werden, um den gleichen Kreislauf von Neuem zu beginnen. Es ist etwas Aehnliches, nur viel, viel Complicirteres, wie wenn von einem menschlichen Staatswesen ein Menschenpaar — dem befruchteten Ei vergleichbar — sich trennen würde, um in einem unbewohnten Land eine Kolonie zu begründen, indem durch Vermehrung dieser Familie nach Jahrhunderten ein neues Staatswesen gleicher Art entstünde, von dem dann wieder ein Paar ausgesandt würde, um den gleichen Process der Staatenbildung abermals einzuleiten.

Mit dem Gesagten haben wir in Kürze das Wesentliche der geschlechtlichen Fortpflanzung charakterisirt, wie es nicht nur für das Thierreich, sondern mit gewissen untergeordneten Modificationen auch für die Pflanzenwelt gilt; und wir können nun daran gehen, unser Problem zu formuliren.

Betrachten wir einfach den Vorgang der Befruchtung, so besteht er in der Vereinigung zweier höchst ungleicher Zellen, einer weiblichen und einer männlichen, zu einer Zelle, die den Ausgangspunkt für ein neues Individuum darstellt. Allein unter Befruchtung hat man von jeher eine Bewirkung verstanden; ob wir den Zoologen Leuckart oder den Botaniker Sachs befragen, ob wir die Physiologie Johannes Müller's oder die Schriften des Anatomen O. Hertwig nachschlagen, stets wird das Befruchtungsproblem dahin formulirt: Was bewirkt der Samen am oder im Ei, um es zur Bildung eines neuen Individuums zu befähigen? Und diese Frage werden wir heute so aussprechen müssen: Was bringt die Samenzelle in die Eizelle hinein, um die Entwicklungsfähigkeit herzustellen?

Die Zahl von Möglichkeiten, die hier von vorn herein denkbar wären, ist eine ungeheuer grosse, wie am besten daraus ersichtlich ist, dass man schon zu Ende des 17. Jahrhunderts die Zahl der bis dahin aufgestellten Zeugungstheorien auf etwa 300 geschätzt hat. Die Erfahrungen, die seither gemacht worden sind, gestatten uns jedoch, diese Fülle auf einen ganz kleinen Kreis einzuschränken. Wir kennen, besonders bei den Insekten und verwandten Gliederfüsslern, Eier, die sich ohne Be-

fruchtung — wie der wissenschaftliche Ausdruck lautet: parthenogenetisch — entwickeln; es gehört also nicht nothwendig zur Natur des Eies, zum Zwecke der Entwicklung einer Ergänzung zu bedürfen. Zweitens: es giebt Eier, die befruchtet werden, die aber, wenn nicht befruchtet, sich doch entwickeln, wie das für die Biene seit Langem bekannt ist. Wir schliessen daraus, dass selbst Eiern, die auf Befruchtung eingerichtet sind, nichts Essentielles zur Hervorbringung eines neuen Individuums fehlen kann. Drittens endlich hat vor 2 Jahren J. LOEB an Seeigeleiern die Entdeckung gemacht, dass sie künstlich zu parthenogenetischer Entwicklung gebracht werden können. Werden diese Eier, die sich unter normalen Verhältnissen nur nach erfolgter Befruchtung entwickeln und ohne sie absterben, auf einige Zeit in gewisse Salzlösungen versetzt und dann in Seewasser zurückgebracht, so beginnen sie sich spontan zu entwickeln.

Aus allen diesen Thatsachen muss gefolgert werden, dass das Wesen der Thier- oder Pflanzenspecies in dem Ei allein vollkommen enthalten ist. Der Defect, der das Ei typischer Weise an selbständiger Entwicklung verhindert, kann nur in einer untergeordneten Hemmung bestehen, die durch das Spermatozoon gehoben wird. Das Ei lässt sich einer Uhr vergleichen mit vollkommenem Werk; nur die Feder fehlt und damit der Antrieb Und da, wie wir constatirt haben, das Triebwerk der Embryonalentwicklung in der fortgesetzten Zelltheilung liegt, alle qualitativen Veränderungen bei derselben, die zur Bildung eines Zellenstaates von bestimmter Art führen, in der Beschaffenheit des Eies selbst begründet sind, so wird die definitive Formulirung des Befruchtungsproblems die sein: Was fehlt dem Ei, dass es sich nicht zu theilen vermag, was bringt das Spermatozoon Neues hinein, um die Theilung des Eies und als Folge alle weiteren Theilungen zu bewirken?

Dass wir hier, bei dem Stand unserer Einsicht in die Lebenserscheinungen der Zellen, über unsichere Vermuthungen hinauskommen können, liegt in einer besonderen Gunst der Natur begründet, wie wir uns einer solchen nur selten erfreuen dürfen. Die Theilung einer Zelle ist ein so complexes Phänomen, von so vielen Factoren abhängig, dass eine Menge verschiedener für uns ganz unsichtbarer Reize denkbar wäre, durch welche das Spermatozoon die Hemmung des Eies lösen könnte. Allein wir vermögen an der Samenzelle, die ins Ei eingedrungen ist, etwas wahrzunehmen, das uns erlaubt, die Art dieser Einwirkung näher zu bestimmen. Schon vorhin habe ich auf die im Leben sichtbare Strahlensonne aufmerksam gemacht, die um den Spermakopf und dessen Mittelstück im Eiprotoplasma erscheint und mit dem wachsenden Spermakern, selbst immer mehr an Ausdehnung gewinnend, gegen den Eikern hinwandert. An ihrer Stelle finden wir später zwei solche Strahlensysteme, die sich am ersten Embryonalkern gegenüberstehen und dann zu der Theilung des Eies in so auffallende geometrische Beziehung

treten. Schon von den ersten Beobachtern sind diese Erscheinungen wahrgenommen worden; allein sie blieben unverständlich, bis man sie zu den Vorgängen in Beziehung setzen konnte, die sich bei der Theilung irgend einer typischen thierischen Zelle abspielen. Hieraus ergiebt sich auch für uns die Nothwendigkeit, die Vorgänge der Zelltheilung näher ins Auge zu fassen.

Man hat sich die Zelltheilung früher sehr einfach gedacht; der Kern sollte sich in 2 Kerne durchschnüren und um jeden der neuen Kerne die Hälfte des Protoplasmas abgrenzen. Heute wissen wir über den Vorgang so Vieles zu sagen, dass sich Bücher darüber schreiben lassen. Es ist annähernd der gleiche Zeitpunkt: Mitte der 70er Jahre gewesen, als neben dem ersten Eindringen in das Wesen des Befruchtungsvorganges und zum Theil gerade bei Gelegenheit dieser Untersuchungen höchst merkwürdige Beobachtungen über die Theilung der Zellen und besonders der Zellkerne gemacht worden sind. Eine äusserst rege und fruchtbare Thätigkeit zahlreicher Forscher hat seither diese Processe zu voller Klarheit gebracht, und wenn sich hierbei das für einfach Gehaltene als etwas sehr Verwickeltes herausgestellt hat, so ist gerade diese Complication eine so sinnvolle und lichtspendende gewesen, dass die Kenntniss der Zellenorganisation durch nichts Anderes so sehr gefördert worden ist als durch das Studium der Zelltheilung. Ja man darf sagen, dass an der Signatur der Biologie in den letzten 25 Jahren kaum ein anderer Zweig mehr Antheil hat als die Entwicklung der Lehre von der Theilung der Zellen.

Nur das für unsere Betrachtungen Wichtige sei hier kurz erläutert. Betrachten wir eine sog. ruhende Zelle, d. h. eine Zelle in dem Dauerzustand zwischen zwei Theilungen, so erscheint in ihr der Kern als ein helleres Bläschen, durch eine zarte Membran begrenzt. Von den verschiedenen Substanzen, die wir im Kern nachweisen können, lässt sich, wenigstens in vielen Fällen, nur eine continuirlich vom Mutterkern auf die beiden Tochterkerne verfolgen; nur sie braucht uns hier zu beschäftigen. Wir nennen sie „Chromatin“ wegen einer merkwürdigen Affinität zu gewissen Farbstoffen. Bringen wir nämlich eine Zelle, nachdem sie in bestimmter Weise abgetödtet und conservirt worden ist, auf einige Zeit z. B. in eine Carminlösung und darauf in eine farblose, das Carmin lösende Flüssigkeit, so wird der Farbstoff aus allen Theilen vollständig ausgezogen; nur unsere specifische Kernsubstanz hält ihn fest und leuchtet aus der farblosen Umgebung lebhaft roth hervor. Im ruhenden Kern ist das Chromatin zu einem Schwammwerk angeordnet. Die erste Andeutung, dass der Kern sich theilen will, giebt sich darin zu erkennen, dass das Chromatin in Bewegung geräth. Einzelne Strecken des Gerüstwerks verstärken sich, während die übrigen Bereiche entsprechend schwächer werden. Dieser Vorgang endigt damit, dass das gesammte Chromatin sich in einige strangförmige Körper zusammenzieht.

die wir Kernelemente oder Chromosomen nennen. Ihre Zahl ist für jede Organismenart constant. Bei manchen Thieren sind es sehr wenige, so be gewissen Würmern nur 2; meistens treffen wir höhere Zahlen: 8, 16, 24, ja es giebt Organismen, bei denen die Zahl der Kernelemente mehrere 100 beträgt. Nachdem diese Körperchen fertig gebildet sind — meist verkürzen und verdicken sie sich noch nachträglich — löst sich das Kernbläschen auf. Die Membran schwindet, der Kernsaft mischt sich mit dem Protoplasma, und der Kern wird fortan nur repräsentirt durch die direct ins Protoplasma eingebetteten Chromosomen.

Der Kerntheilungsvorgang, wenn wir überhaupt von einem solchen sprechen wollen, besteht nun darin, dass sich jedes Chromosoma der Länge nach in zwei identische Hälften spaltet, von denen jede in einen anderen der beiden Bezirke geführt wird, die sich später als Tochterzellen von einander abgrenzen. Die Feinheit dieses Processes macht um so mehr Eindruck, je grösser die Zahl der Chromosomen ist. Sind z. B. aus dem Mutterkern 48 Chromosomen hervorgegangen, so erhält auch jede Tochterzelle 48, von jedem Element des Mutterkerns die eine Hälfte. In jeder Tochterzelle veranlasst dann die ihr zugefallene Chromosomengruppe die Bildung eines neuen Kerns. Die Chromosomen sammeln Flüssigkeit aus dem Protoplasma um sich an, so entsteht die neue Kernvacuole, in der sich die Kernelemente nun wieder in ein Schwammwerk umwandeln. Indem sich dieses Gerüst noch weiter verfeinert und das Bläschen wächst, gelangen wir zu dem Zustand, von dem wir ausgegangen sind.

Die minutiöse Vertheilung des Chromatins, auf die sich nach dem Gesagten die Kerntheilung reducirt, wird bewirkt — und damit kommen wir zu dem für unsere Betrachtungen wesentlichen Punkt — durch einen Apparat, dessen fertiger Zustand mit seiner fast mathematischen Regelmässigkeit schon den ersten Beobachtern auffiel, dessen Entstehung und Wirkungsweise aber erst seit dem Jahre 1887 bekannt ist. Schon in der ruhenden Zelle sehen wir neben dem Kern ein kleines Körperchen, das ich „Centrosoma" genannt habe, umgeben von einem Hof dichteren Plasmas. Dieses Körperchen scheint allen vermehrungsfähigen thierischen Zellen zuzukommen. Die Zelltheilung wird dadurch eingeleitet, dass sich das Centrosoma in zwei Hälften theilt, und in diesen beiden Tochtercentrosomen sind, wie der weitere Verlauf lehrt, die Mittelpunkte für die beiden zu bildenden Tochterzellen gegeben. Während die beiden Körperchen aus einander rücken, wandelt sich der Hof, der sie umgiebt, in fädige Strahlen um, ähnlich, wie sich Eisenfeilspäne um magnetische Pole gruppiren. So entstehen zwei immer grösser werdende Strahlensysteme, die gewöhnlich als „Astrosphären" bezeichnet werden. Die Astrosphären haben die Eigenschaft, die Kernelemente an sich zu binden; jede Sphäre für sich hat das Bestreben, die Kernelemente in

einem bestimmten Abstand von ihrem Centrosoma zu einer Kugelfläche anzuordnen, wobei sich einzelne ihrer Radien in gesetzmässiger Weise an die Kernelemente anheften. Indem jedes Kernelement diese Einwirkung von beiden Seiten erfährt, wird es möglichst in die Mitte zwischen beide Centrosomen geführt, und alle Kernelemente zusammen werden in äusserst regelmässiger Weise zu einer äquatorialen Platte angeordnet.

Die Spaltung der Kernelemente erfolgt nun so, dass jede Hälfte mit einer anderen Sphäre in Verbindung bleibt; jetzt weichen die beiden Sphären nach entgegengesetzten Richtungen auseinander, jede die ihr verbundenen Chromosomenhälften nach sich ziehend. In gleicher Richtung streckt sich gleichzeitig der Zellkörper und schnürt sich schliesslich in der Mitte zwischen den Centrosomen durch; und auch dieser Vorgang ist, wie verschiedene Experimente lehren, in letzter Instanz eine Function der Centrosomen.

Sind diese Processe abgelaufen, so bildet sich die Astrosphäre wieder zu einem unscheinbaren Hof zurück oder schwindet gänzlich, das Centrosoma aber bleibt bestehen als dauerndes, neben dem Kern selbständiges Zellenorgan.

Bis vor Kurzem schien es, als ob die Centrosomen Bildungen wären, die nur durch Erbschaft von einer Zellengeneration auf die andere übergehen können, so wie es der beschriebene Kreislauf ergiebt. Die neuesten Untersuchungen lassen jedoch kaum einen Zweifel, dass sich Centrosomen unter gewissen Umständen neu im Protoplasma bilden können, wobei es allerdings noch fraglich ist, ob eine solche Neubildung auch im normalen Verlauf irgendwo vorkommt. Auch wenn dies der Fall sein sollte, wäre damit kein Einwand gegeben gegen die Bezeichnung des Centrosomas als eines Organs der Zelle, dessen Function sich als die eines dynamischen Mittelpunktes der Zelle bezeichnen lässt. Durch seine Theilung werden, wie wir gesehen haben, zwei Centren geschaffen, deren jedes die eine Hälfte eines jeden Kernelements für sich in Anspruch nimmt und die Hälfte des Protoplasmas um sich abgrenzt. So können wir das Centrosoma als das Theilungs- oder Fortpflanzungsorgan der Zelle bezeichnen.

Kehren wir, mit dieser Einsicht ausgerüstet, zu dem Befruchtungsproblem zurück, so wird die erste Frage sein: Woher rühren die beiden Centrosomen des sich theilenden Eies? Die Untersuchung bei zahlreichen Thierformen von den Würmern bis zu den Wirbelthieren hat ergeben, dass sie durch Zweitheilung eines Centrosoms entstehen, welches an dem eingedrungenen Spermatozoon in der Region des Mittelstücks auftritt. Schon das vorhin besprochene Verhalten der Strahlensysteme im lebenden Seeigelei deutet darauf hin; um aber die Centrosomen selbst zu sehen, ist es nothwendig, in bestimmter Weise präparirte Eier zu studiren. Zwischen dem Spermakopf und dem Schwanzfaden be-

findet sich, wie oben erwähnt, das Mittelstück. Dieses ist der Sitz des Centrosomas. Nachdem es einige Zeit im Eiprotoplasma verweilt hat, wobei es durch Drehung des mit ihm verbundenen Kopfes nach innen gerichtet wird, entsteht um dasselbe eine Astrosphäre, d. i. die schon im Leben sichtbare Strahlenfigur. Nach einiger Zeit theilt es sich, und nun lässt sich Schritt für Schritt verfolgen, wie die beiden Tochtercentrosomen zu den Polen der ersten Theilungsfigur werden. Holen wir hier noch in Kürze die Schicksale des Spermakerns nach, so hat sich der zunächst compacte Chromatinkörper allmählich mit einem Flüssigkeitshof umgeben; in diesem Bläschen lockert sich alsdann das Chromatin auf und wandelt sich in der rasch wachsenden Vacuole in ein Gerüst um. Schiesslich stehen die beiden Kerne in voller Gleichheit neben einander, verschmelzen nun entweder oder bereiten sich beide selbständig zur Theilung vor, worauf in der uns bekannten Weise die Auflösung erfolgt. Jetzt fassen die Astrosphären, die sich um die Centrosomen gebildet haben, wie bei jeder Zelltheilung, die Kernelemente zwischen sich und vertheilen sie nach E. VAN BENEDEN's wichtiger Entdeckung so, dass jede Tochterzelle zur Hälfte väterliche, zur Hälfte mütterliche Kernelemente erhalten wird. Der Process geht dann in der uns bekannten Weise fort, alle Centrosomen des neuen Individuums leiten sich, soweit verfolgbar, von demjenigen ab, welches wir an dem eingedrungenen Spermatozoon auftreten sahen. Das Ei ist an ihrer Constituirung ganz unbetheiligt; sein Centrosoma bildet sich, wie dies für einige Fälle direct verfolgt werden konnte, vor der Befruchtung zurück.

Es ist einleuchtend, dass die Bildung des Theilungsapparats, die nach unseren Feststellungen vom Spermatozoon ausgeht, die befruchtende Wirkung der männlichen Zelle völlig zu erklären vermag. Allein es wäre denkbar, dass noch andere gegenseitige Ergänzungen von Ei- und Samenzelle zur Herstellung der Entwicklungsfähigkeit nöthig wären. Besonders nahe lag es seit O. HERTWIG's Entdeckung, an die Kernvereinigung zu denken. Es hat sich jedoch experimentell zeigen lassen, dass ihr eine solche Bedeutung nicht zukommt. Wohl muss das Ei zur Entwicklung einen Kern von bestimmter Qualität besitzen; allein ob dies ein Eikern oder ein Spermakern oder ein aus beiden combinirter Kern ist, das ist gleichgültig. Dass der Spermakern allein genügt, habe ich durch einen Versuch gezeigt, dessen Grundlage wir den Brüdern HERTWIG verdanken. Man kann Seeigeleier durch heftiges Schütteln in Stücke zerfällen, die sich nach einiger Zeit kugelig abrunden und völlig lebensfähig sind. Einzelne von ihnen enthalten keinen Kern. Dringt in ein solches nicht zu kleines Fragment ohne Eikern ein Spermatozoon ein, so leistet der Spermakern allein, was er sonst mit dem Eikern gemeinsam leistet. Es entsteht eine Zwerglarve mit allen Qualitäten derjenigen, die sich aus einem ganzen Ei züchten

lässt. — Das Gegenstück zu diesem Versuch, die Ausschaltung des Spermakerns, lässt sich so rein nicht erzielen. Doch giebt es auch hier ein Experiment von genügender Beweiskraft, gleichfalls an Seeigeleiern ausgeführt. Mischt man nämlich die Eier und Spermatozoen, nachdem sie sich vorher unter gewissen abnormen Bedingungen befunden haben, so ereignet es sich, dass von dem eingedrungenen Spermatozoon nur das Centrosoma gegen den Eikern wandert, der Kern dagegen in einem Zustand von Lähmung in der Peripherie liegen bleibt. In diesem Fall wird der Eikern allein getheilt, und es erfolgt entsprechend die Theilung des Eies, der Spermakern gelangt unverändert in die eine Tochterzelle und kann hier nun mit dem Derivat des Eikerns verschmelzen. Die andere Zelle, die nur ein Eikernderivat besitzt, ist in ihrer weiteren Theilung nicht im Mindesten beeinträchtigt, ja sie theilt sich sogar rascher als die andere. Man wird daraus schliessen dürfen, dass der Spermakern schon im Ei fehlen könnte, ohne dass die Entwicklung gestört wäre.

Der erste der beiden angeführten Versuche ist aber noch aus einem anderen Grund von Bedeutung. Die Centrosomen sind so klein, dass sie auf gewissen Stadien an der Grenze dessen stehen, was wir mit unseren besten Mikroskopen noch nachweisen können. Es wäre der Einwand möglich, dass Manches, was an ihnen vorgeht, sich der Beobachtung entziehen könnte, speciell dass doch in irgend einer Weise ein Eicentrosoma an der Bildung der Theilungspole betheiligt wäre, wie dies in der That von Fol behauptet worden war. Die Entwicklung von Eifragmenten ohne Eikern schliesst jedoch diese Annahme aus. Denn das Eicentrosoma, das nach den Angaben Fol's dem Eikern anliegen sollte, müsste mit diesem entfernt sein.

Sehr wichtig für unser Problem sind endlich die Erscheinungen der sog. Ueberfruchtung. Ist ein Ei geschwächt, so dass es die Dotterhaut nicht rasch genug bildet, was man z. B. durch die Einwirkung gewisser Narcotica erzielen kann, so dringen 2, 3, oft viele Spermatozoen ein. Wir wollen den Fall betrachten, dass zwei eingedrungen sind. Der Verlauf lässt sich kurz dahin charakterisiren, dass jedes von ihnen sich so verhält, wie wenn es das einzige wäre. Die beiden Spermakerne vereinigen sich mit dem Eikern, jedes Spermacentrosoma liefert wie sonst 2 Tochtercentrosomen, und es entsteht anstatt der normalen 2poligen eine 4polige Theilungsfigur, die zu einer ganz unregelmässigen Vertheilung der Kernelemente und zu einer simultanen Viertheilung des Eies führt. Ganz entsprechend treten, wenn 3 Spermatozoen eingedrungen sind, 6 Pole, wenn 4 eingedrungen sind, 8 Pole auf. Damit ist aufs Klarste bewiesen, dass die Configuration des Theilungsapparats ausschliesslich eine Function des Spermatozoons ist; das Ei hat auf seine Constitution gar keinen Einfluss.

Es ist nun noch von besonderem Interesse, dass aus Eiern, in denen

in Folge des Eintritts zweier oder mehrerer Spermatozoen mehrpolige Figuren entstehen, niemals ein normaler Organismus wird. Die Theilung führt zur Bildung eines Zellenhaufens oder einer Zellenblase, aber weiter geht die Entwicklung nicht; wogegen im umgekehrten Fall, wo unter gewissen abnormen Bedingungen zwei Eier mit einander verschmolzen sind und ein Spermatozoon hinzutritt, eine typische 2polige Theilungsfigur und schliesslich ein normaler Riesenembryo entsteht (O. ZUR STRASSEN), zugleich ein neuer Beweis für die ausschliessliche Bestimmung des Theilungsapparats durch die Samenzelle. Es ist unzweifelhaft, dass es die gleichzeitige Wirkung von mehr als 2 Polen ist, worauf bei der Ueberfruchtung die schädliche Wirkung beruht; denn auch, wenn auf andere Weise in einer Zelle mehrpolige Theilungsfiguren entstanden sind, ist das Product ein pathologisches. Wie dies weiter zu erklären ist, darüber sind bis jetzt nur Vermuthungen möglich; aber schon die Thatsache für sich ist für uns sehr lehrreich. Denn sie zeigt, dass, wie die normale Befruchtung eine Function des Spermacentrosomas ist, so auch die pathologische Wirkung der Ueberfruchtung ausschliesslich den mehrfachen Centrosomen zur Last fällt.

Auf Grund der besprochenen Thatsachen habe ich im Jahre 1887 eine Theorie der Befruchtung anfgestellt, die nach manchem Widerspruch immer allgemeinere Bestätigung und Beistimmung erfahren hat. Sie lautet: Das reife Ei besitzt alle zur Entwicklung nothwendigen Organe und Qualitäten, nur sein Centrosoma, welches die Theilung einleiten könnte, ist rückgebildet oder in einen Zustand von Inactivität verfallen. Das Spermatozoon umgekehrt ist mit einem solchen Gebilde ausgestattet, ihm aber fehlt das Protoplasma, in welchem dieses Theilungsorgan seine Thätigkeit zu entfalten im Stande wäre. Durch die Verschmelzung beider Zellen im Befruchtungsact werden alle für die Entwicklung nöthigen Zellenorgane zusammengeführt; das Ei erhält ein Centrosoma, das nun durch seine Theilung die Embryonalentwicklung einleitet.

Eine genaue Analyse der Spermatozoen-Entwicklung, um die sich vor Allem F. MEVES verdient gemacht hat, hat seither zu dem Ergebniss geführt, dass das Centrosoma, welches der Samenzelle bei ihrer Entstehung zugefallen ist, oder wenigstens ein Derivat dieses Centrosomas an jene Stelle rückt, wo wir im Ei das Spermacentrosoma auftreten sehen, so dass also auch in dieser Hinsicht die Theorie dem Beobachtbaren völlig entspricht.

Hier wird sich nun sofort eine Frage aufdrängen: Wie ist es bei der Parthenogenese? Wenn zur Theilung ein Centrosoma nöthig ist, wenn der Defect des Eies in dem Fehlen des Centrosoma besteht, wie gewinnen die Eier, die sich ohne Befruchtung entwickeln, ein solches? Also z. B. das Seeigelei, wenn es durch Versetzen in die von LOEB angegebenen Lösungen zu selbständiger Entwicklung angeregt wird? Völlig aufgeklärt ist diese Frage nicht. So viel aber, glaube ich, lässt

sich sagen, dass das Ei in diesem Fall die Fähigkeit besitzt, Centrosomen durch eine Art von Regeneration neu zu bilden. In allen Eiern, die zu dieser Regeneration befähigt sind, wäre Parthenogenese möglich.

Das uralte physiologische Problem der Befruchtung sehe ich auf Grund unserer Feststellungen im Wesentlichen als gelöst an. In Bestätigung einer merkwürdigen Vorahnung des Aristoteles, wonach der weibliche Organismus den Stoff für das neue Individuum, der männliche den Anstoss zur Bewegung dieses Stoffes liefere, haben wir die Unfähigkeit des Eies, sich selbständig zu entwickeln, als eine Unfähigkeit zur Theilung erkannt, wir haben gefunden, dass das Spermatozoon diesen Mangel durch Einpflanzung eines neuen Theilungscentrums behebt. Die Befruchtung ist damit auf die Physiologie der Zelltheilung zurückgeführt und damit im Princip erklärt.

Allein diese Lösung, die, als man noch aus nebliger Ferne nach ihr strebte, wie ein Zauberland biologischer Einsicht erscheinen konnte, vermag uns nicht zu befriedigen; indem wir sie erarbeitet haben, hat sich unter unseren Händen das Problem verändert und gerade durch unser Ergebniss selbst eine ganz neue Gestalt angenommen. Vor Allem ist hier eine Enttäuschung zu verzeichnen, die uns beim Suchen nach Gesetzen in der organischen Natur gar häufig begegnet: die erkannte Lösung ist keine allgemeine. Sie gilt für die Thierwelt, schon hier vielleicht nicht ganz allgemein; sie gilt möglicher Weise für gewisse Pflanzen, für die weit überwiegende Mehrzahl der Pflanzen gilt sie sicher nicht. Denn ihnen fehlen Centrosomen, der Mechanismus ihrer Zellentheilung ist ein anderer, und so muss auch die Wirkung der männlichen Zelle auf die weibliche in etwas Anderem bestehen, worüber wir freilich noch gar nichts wissen. Allein schon diese negative Feststellung lehrt, dass der besondere Defect, den wir an den thierischen Keimzellen gefunden haben, nicht etwas absolut Generelles ist, dass es nicht zum Wesen der weiblichen Zelle gehört, ihren Theilungsapparat rückzubilden oder inactiv werden zu lassen, der männlichen, einen solchen im Ei hervorzubringen, dass, mit anderen Worten, der Unterschied zwischen männlicher und weiblicher Keimzelle gar nicht in der ganzen Organismenwelt der gleiche ist. Und dieses Ergebniss führt unmittelbar zu der Frage: Warum ist überhaupt ein solcher Gegensatz vorhanden, was bedeutet er?

Schon eine genauere Analyse unserer bisherigen Ergebnisse liesse uns hier weiter vordringen; allein wir wollen einen anderen Weg einschlagen, der uns rascher und sicherer zum Ziel führt, den der Vergleichung.

Geschlechtliche Vorgänge reichen in ihrer Wurzel herab bis zu den Urpflanzen und Urthieren, jenen primitivsten Lebewesen, die nur aus einer einzigen Zelle bestehen, einem Gebilde ganz ebensolcher Art, wie sie zu Billionen den Körper der höchsten Organismen zusammensetzen.

Schon lange kennt man bei diesen einzelligen Thieren und Pflanzen Paarungsvorgänge, die man als Conjugation bezeichnet. Das genaue Studium dieser Processe fällt in die gleiche Periode, wie das der Zelltheilung und Befruchtung, und hat mit der Aufklärung der complicirtesten Conjugationsform, die uns die sog. Wimperinfusorien darbieten, durch MAUPAS und R. HERTWIG seinen Gipfelpunkt erreicht. Da es uns nicht auf das Detail ankommt, so mag eine ganz allgemein gehaltene Schilderung, wie sie den einfachsten Conjugationstypen entspricht, genügen.

Nehmen wir an, ein solches einzelliges Wesen gelange in ein Glas Wasser mit reichlichen Nährstoffen, so vermag es sich durch viele Generationen auf dem Wege fortgesetzter Zweitheilung zu vermehren, so dass schon nach kurzer Zeit von unserem ersten Individuum Millionen abstammen können. In gewissen Intervallen nun wird diese gleichmässige Vermehrung durch eine Conjugationsperiode unterbrochen. Die vorhandenen Individuen, die alle gleich sind, legen sich paarweise an einander, und jedes Paar verschmilzt zu einem Individuum, d. i. zu einer Zelle. Diese durch die Conjugation gebildeten Individuen vermehren sich dann wieder durch Theilung.

Die Conjugation bietet uns also etwas ganz Aehnliches, wie die Befruchtung. Wie hier zwei celluläre Individuen: Eizelle und Samenzelle, sich vereinigen, so dort zwei einzellige Individuen; in beiden Fällen folgt auf die Vereinigung eine lange Reihe von Theilungen, freilich mit dem Unterschied, dass diese Theilungen bei dem einzelligen Thierchen zur Bildung von lauter getrennten und gleichartigen Individuen führen, während bei den höheren Thieren diese Abkömmlinge in bestimmter Weise verschieden sind und zusammenbleibend eine höhere Einheit, einen Zellenstaat, formiren. Auch sind bei dem einzelligen Organismus alle Abkömmlinge schliesslich wieder copulationsfähig, bei dem höheren Thier nur einige, eben die Keimzellen, die anderen, die den eigentlichen Körper zusammensetzen, sind dem Tod verfallen.

Vielleicht scheinen Ihnen die Unterschiede zwischen Befruchtung und Conjugation trotz dieser Vergleichung so gross, dass Sie zweifeln, ob wir hier die gleiche Erscheinung vor uns haben. Bewiesen wird dies mit aller Sicherheit dadurch, dass wir zwischen beiden Arten von Zellenvereinigung ganz allmähliche Uebergänge besitzen. Es kann genügen, wenn ich hier zwei anführe.

Es giebt einzellige Organismen aus der Gruppe der Geisselthierchen, die in sogenannten Kolonien oder Familien zusammenleben. Eine solche Familie ist die in Tümpeln nicht seltene Pandorina morum. Sie besteht aus 16 Zellen, die in einer Gallertkugel eingebettet sind, über deren Oberfläche von jeder Zelle zwei Geisseln ins Wasser herausragen. Diese schwingenden Fäden treiben die ganze Kugel rotirend im Wasser

herum. Eine solche Familie bildet einen ersten Schritt zu einem vielzelligen Organismus, aber eben nur einen Schritt; denn abgesehen von der geringen Zahl von Zellen, sind diese alle gleichwerthig, und man kann kaum von einer Unterordnung unter eine höhere Einheit reden. Solche Familien vermehren sich für gewöhnlich in der Weise, dass jede Zelle, wenn sie ausgewachsen ist, durch rasch aufeinanderfolgende Theilungen wieder in 16 Zellen zerfällt, die ihrerseits wieder in einem kugeligen Häufchen, von einer gallertigen Hülle umschlossen, beisammen bleiben. Nun werden diese Tochterfamilien durch Auflösung der gequollenen alten Gallertkugel frei und wachsen zur ursprünglichen Grösse heran. Von Zeit zu Zeit aber tritt etwas Anderes ein. Die Individuen der Kolonien schwärmen aus und conjugiren paarweise. Das Verschmelzungsproduct umgiebt sich mit einer Haut und wächst beträchtlich, schlüpft dann, mit zwei Geisseln ausgerüstet, aus der Hülle aus und liefert durch rasch auf einander folgende Theilung wieder eine 16zellige Kolonie.

Diese Vorgänge erinnern schon bedeutend mehr an die Fortpflanzungsgeschichte eines höheren Thieres. Die raschen Theilungen zur Bildung der neuen Familie repräsentiren eine Art einfachster Embryonalentwicklung, und an den Anfang dieser Entwicklung tritt, wenn auch nur manchmal, die Verschmelzung zweier Zellen zu einer. Schon hier kommt es vor, dass diese Zellen etwas verschieden an Grösse sind, mit Vorliebe conjugiren verschieden grosse, womit also ein Anfang zu geschlechtlichem Gegensatz gemacht ist.

Dieser Gegensatz ist voll erreicht bei einer zweiten Gattung solcher kolonialer Geisselthierchen, bei Eudorina elegans. Die gewöhnlichen Kolonien, aus 16 oder 32 Zellen bestehend, gleichen fast vollkommen denen von Pandorina, und auch die Vermehrung vollzieht sich in der gleichen Weise. Kommt aber nun hier die Conjugationsperiode, so treten zweierlei Kolonien auf, die wir als männliche und weibliche unterscheiden können. Die weiblichen verhalten sich wie die gewöhnlichen. Die männlichen sind dadurch ausgezeichnet, dass jede Kolonialzelle durch successive Zweitheilung 32 kleine Zellen liefert. Es sieht zunächst so aus, als sollten neue Tochterkolonien entstehen; allein die kleinen sich streckenden Zellen schwärmen, zu Bündeln vereint, ins Wasser aus, dringen dann, nachdem sie sich von einander gelöst haben, einzeln in die erweichte Gallerte der weiblichen Kolonien ein, worauf je eine kleine männliche Zelle mit einer grossen weiblichen verschmilzt. Hier haben wir also die ersten Eier, die ersten Spermatozoen; aber jedes Individuum der weiblichen Kolonie repräsentirt ein Ei, jedes der männlichen ein Spermatozoon. Erst auf einer noch etwas höheren Stufe, wie sie durch das bekannte Kugelthierchen, Volvox, dargestellt wird, tritt dann der Gegensatz zwischen den allein conjugationsfähigen Keimzellen und den reinen Körperzellen auf.

Damit haben wir die Kette geschlossen und können untersuchen, was uns die Conjugation selbständiger einzelliger Wesen lehrt. Zweierlei: erstens, dass der geschlechtliche Gegensatz nichts Principielles sein kann, denn er fehlt auf der tiefsten Stufe; alle Individuen sind gleich, jedes kann sich mit jedem paaren. Zweitens, dass der Vereinigung zweier Zellen hier die Beziehung zu dem Anfang einer „Entwicklung" fehlt, dass also die Vorstellung, als gehöre an den Beginn eines jeden neuen Individuums nothwendig eine Zellenvereinigung, hier noch einen entschiedeneren Stoss erfährt, als durch die Parthenogenese. Halten wir alles zusammen, was der Befruchtung und Conjugation gemeinsam ist, so bleibt nur übrig, dass nach einer gewissen Anzahl von Zelltheilungen eine Zellenpaarung eintritt. Dies ist das Generelle.

Was bedeutet diese Paarung? Vielfach begegnet man der Idee einer Verjüngung, der Ansicht, dass die Zellen nach einer langen Reihe von Theilungen greisenhaft werden, und, wie eben alle unsere Körperzellen, sterben müssen, wenn sie nicht durch Verschmelzung mit einer anderen entsprechenden Zelle sich regeneriren. Allein diese Anschauung hält einer genaueren Prüfung nicht Stand. Schon die Vorstellung, dass die Vereinigung zweier Zellen etwas hervorbringen könne an Lebensenergie, was die einzelne Zelle nicht zu erreichen vermöchte, erscheint höchst bedenklich. Und wenn wir betrachten, welche Mängel es sind, die die Eier und Spermatozoen an selbständiger Theilung verhindern, und in welcher Weise sich beide zur Theilungsfähigkeit ergänzen, so wird Niemand hierbei an senile Erschöpfung denken. Eben so wenig ist für die Annahme seniler Degeneration die von MAUPAS festgestellte Thatsache beweisend, dass die von ihm gezüchteten Wimperinfusorien nach einer gewissen Zahl von Generationen conjugationsbedürftig werden und bei Verhinderung der Paarung allmählich zu Grunde gehen. Denn hier ist eine andere Anschauung ganz ebenso berechtigt. Die zu einem regulären Gebrauch gewordene Conjugation kann, ähnlich wie wir dies bei der Befruchtung finden, zu einer besonderen Umbildung der nach einer bestimmten Generationenzahl auftretenden Individuen geführt haben, wodurch dieselben gewissermaassen zu Hälften gemacht werden, welche erst durch Verschmelzung mit einer ähnlichen Hälfte wieder ein reguläres Ganzes werden. Ich möchte, um dies noch klarer zu machen, das typische Lebewesen einer Kugel vergleichen, das ungestörte Fortlaufen seiner Functionen dem Rollen der Kugel. Sollen nun zwei Gebilde zusammen eine Kugel geben, so werden sie zu complementären Kugelsegmenten reducirt sein müssen, sie können allein nicht mehr rollen. In manchen Fällen mögen sie beim Ausbleiben der Ergänzung sich wieder zur Kugel umgestalten können — eine Art Regeneration — in anderen nicht. Der letztere Fall würde uns das Phänomen der sogen. Greisenhaftigkeit darbieten.

Der wichtigste Einwand aber gegen die Verjüngungstheorie ist der,

dass, soweit und allgemein auch die Paarung durch's Thier- und Pflanzenreich von den niedersten bis zu den höchsten Repräsentanten durchgeführt ist, es doch Organismen giebt, bei denen, soweit unsere Erfahrung reicht, unbegrenzte Vermehrung ohne Paarung, sich findet. Es ist allgemein bekannt, dass viele Pflanzen sich in ungezählten Generationen durch Zwiebeln oder Knollen fortpflanzen lassen, ohne dass die geringste Spur von Degeneration erkennbar wäre, ja es giebt einzelne Pflanzen und nach den neuesten Untersuchungen von Maupas höchst wahrscheinlich auch Thiere, welche die Einrichtungen zu geschlechtlicher Fortpflanzung völlig verloren haben.

Die Paarung kann also nicht eine unumgängliche Nothwendigkeit sein zum Bestand des organischen Lebens, die Verjüngungstheorie wird damit hinfällig, und es bleibt nur die Annahme übrig, dass die Verbindung individueller Eigenschaften, die durch die Verschmelzung zweier Zellen erreicht wird, irgendwie einen Zweck erfüllt, wenn wir auch einstweilen dahingestellt sein lassen, welchen. Aber eine Reihe von Thatsachen, vor Allem die vielfach bestehenden Einrichtungen zur Verhütung der Selbstbefruchtung bei solchen Pflanzen und Thieren, die zugleich männliche und weibliche Organe besitzen, lassen kaum einen Zweifel, dass das Ziel der Paarung in der Vereinigung der Eigenschaften zweier Individuen in einem Individuum, also ganz allgemein in einer Qualitätenmischung gesehen werden muss.

Mit diesen Betrachtungen haben wir einen neuen Standpunkt gewonnen, von dem aus wir zum zweiten Mal unser Problem in Angriff nehmen wollen. Jetzt wird es sich um die Frage handeln, ob die Besonderheiten der geschlechtlichen Fortpflanzung: der Gegensatz männlicher und weiblicher Keimzellen und die Beziehung zur Entstehung eines neuen Individuums, aus den Bedürfnissen der Qualitätenmischung erklärbar sind. Eine Vergleichung mit den Bedingungen bei der Conjugation lässt hier Folgendes erkennen.

Sollen zwei einzellige Organismen ihre Eigenschaften mischen, so brauchen sie einfach zu verschmelzen. Protoplasma mischt sich mit Protoplasma, Kern mit Kern; indem beide Constituenten zu einer Zelle werden, müssen auch ihre Eigenschaften sich verbinden und combiniren. Diese Combination kann dann auf alle Abkömmlinge übergehen.

Sollen zwei vielzellige Organismen ihre Eigenschaften mischen, so geht das nicht so einfach. Ein Mensch kann nicht mit einem anderen Menschen verschmelzen zu einem Individuum, und selbst wenn etwas Derartiges möglich wäre, wie wir nach Crampton Stücke von Schmetterlingspuppen zu einem Ganzen verheilen oder Pflanzen auf einander pfropfen können, so würde dies doch nie zu einer Qualitätenmischung führen. Mischen kann sich Organisches nur im Zustand der Zelle. Und so ist es zu erklären, dass bei allen höheren Organismen

die Mischung an die Fortpflanzung geknüpft ist, an denjenigen Zustand, wo das neue Individuum so zu sagen noch in eine Zelle zusammengefasst ist, wo es als Keimzelle existirt. Da können zwei Keimzellen von zwei verschiedenen Individuen mit einander verschmelzen und an dem Zellenstaat, der aus diesem Verschmelzungsproduct hervorgeht, eine Mischung ihrer beiderlei Qualitäten zur Entfaltung bringen.

Die alten, uns so selbstverständlich gewordenen Vorstellungen über den Zusammenhang von Befruchtung und Entwicklung werden hiermit also genau ins Gegentheil verkehrt: nicht die Verschmelzung zweier Keimzellen ist eine essentielle Vorbedingung für die Entstehung eines neuen Individuums, sondern umgekehrt, die Entstehung des neuen Individuums aus einer Zelle ist die nothwendige Voraussetzung für die Mischung.

Wenn wir nun weiter finden, dass bei allen höheren Thieren und ähnlich bei den Pflanzen die verschmelzenden Keimzellen zu zwei Arten differenzirt sind, zwischen denen ein höchst auffallender Gegensatz besteht, so kann uns dies nach dem, was wir bei der Conjugation gefunden haben, nicht mehr als etwas Fundamentales erscheinen, sondern wir sehen darin lediglich eine Theilung der Arbeit.

Fragt man sich, was denn nöthig ist, damit zwei Keimzellen von zwei verschiedenen Individuen zusammen einem neuen Organismus Entstehung geben, so wird Dreierlei zu nennen sein:

1) Es muss verhindert sein, dass die einzelne Keimzelle sich spontan entwickelt, sie muss eine Hemmung besitzen, die erst durch den anderen Theil gehoben wird.

2) Die beiderlei Keimzellen müssen zusammentreffen, sie müssen sich finden.

3) Sie müssen mit einander eine gewisse Menge von Protoplasma und Nährsubstanz aufbringen, die zum ersten Aufbau des Embryos dienen.

Betrachten wir zuerst die beiden letzten Bedingungen, so liegt es klar zu Tage, dass sich die beiden Arten von Keimzellen in sie getheilt haben. Die einen liefern alles Protoplasma und alle Nährsubstanz, das sind die Eizellen. Sie sind gross und unbeweglich geworden und nicht mehr im Stande, eine andere Keimzelle zum Zweck der Vereinigung aufzusuchen. Diese Function ist den Samenzellen geblieben. Sie steuern an Protoplasma und Nährsubstanz so viel wie nichts bei; dafür sind sie durch ihre bewegliche Geissel zu beträchtlicher Ortsveränderung befähigt und werden bei ihrer Kleinheit in solchen Mengen producirt, dass Millionen zu Grunde gehen können, wenn nur eines sein Ziel erreicht. Indem nun zwei solche Zellen auf einander angewiesen sind, die in der Regel von zwei verschiedenen Individuen stammen, ist zugleich die beste Garantie für die Vereinigung nicht zu ähnlicher Qualitäten geliefert.

Kehren wir von hier zu unserer ersten Bedingung zurück, dass

jede der beiden Keimzellen erst durch die Vereinigung mit der anderen die Entwicklungsfähigkeit erlangen darf, so ergiebt sich, dass diese reciproke Hemmung an die eben besprochene Arbeitstheilung angeknüpft ist. Das Spermatozoon ist ohne Weiteres durch seinen Mangel an Protoplasma gehemmt; die Eizelle besitzt mit dem Protoplasma und seinen Einlagerungen alle Entwicklungsqualitäten, ihr fehlt nur der Antrieb, das Centrosoma.

Jetzt verstehen wir diesen beiderseitigen Mangel zu beurtheilen; er ist nicht ein principieller, keine senile Entartung, sondern, wenn dieser Ausdruck erlaubt ist, ein Verzicht. Die Keimzellen wollen sich nicht allein entwickeln; sie haben eine ihnen ursprünglich zukommende, beim Ei ja in der Parthenogenese hier und dort wieder auftauchende Fähigkeit aufgegeben, um sie erst in gegenseitiger Ergänzung wieder zu gewinnen. Aber auch dafür gewinnen wir nun ein Verständniss, dass, wie vorhin erwähnt, der Gegensatz männlicher und weiblicher Zellen gar nicht überall der gleiche ist. Denn jede Art reciproker Hemmung — und deren sind offenbar sehr viele möglich — wird das Gleiche leisten, wie diejenige, welche wir im Thierreich verwirklicht gefunden haben.

Der Begriff der Befruchtung, dessen wesentlichstes Merkmal in dem Gegensatz zwischen einem „befruchtenden" und einem „befruchteten" Element liegt, verliert von unserem Standpunkt aus seine alte Bedeutung. Die Samenzelle ist ja auch eine Fortpflanzugszelle, ihrem innersten Wesen nach der Eizelle gleichwertig. Wie diese durch das Spermatozoon, so wird auch das Spermatozoon durch das Ei zur Entwicklungsfähigkeit ergänzt. Und wie wir also sagen: das Spermatozoon befruchtet das Ei, so könnte man jetzt auch umgekehrt sagen: das Spermatozoon wird seinerseits vom Ei befruchtet. Freilich nicht ganz mit Recht. Denn das, was „sich entwickelt", ist eben doch immer das Ei, das Spermatozoon ist für das Ei in viel strengerem Sinn nur der Hemmungslöser, sein Supplement, das Centrosoma, ist das unendlich Untergeordnete und daher unter Umständen Ersetzbare, wie die Parthenogenese lehrt, der keine „Androgenese", oder wie man es nennen mag, gegenübersteht.

Wohl ist der Gedanke ausgesprochen worden, dass auch die Samenzelle unter besonderen Bedingungen zu selbständiger Entwicklung befähigt sein könne. Denn das Wesen ihrer Species wird auch in ihr vollkommen enthalten sein müssen. Trotzdem muss diese Erwartung als höchst unwahrscheinlich bezeichnet werden. Denn dass das Spermatozoon, dessen ganze Bildungstendenz auf Beseitigung seines protoplasmatischen Bestandtheiles gerichtet ist, im Stande wäre und genöthigt werden könnte, sich einen mächtigen Plasmakörper zu assimiliren, muss bezweifelt werden.

Aber, werden Sie schliesslich fragen, wenn doch der Zweck die

Qualitätenmischung sein soll, wie ist es möglich, dass die Eigenschaften des Spermatozoons im Ei nicht völlig unterdrückt werden? Wie können sie aufkommen gegenüber denen des Eies, das an Masse tausend- und millionenfach überlegen ist? Darauf ist vor Allem zu antworten: sie kommen auf, auch wenn wir nicht erklären könnten, wie. Zahllose Erfahrungen bei Pflanzen und Thieren und speciell auch am Menschen lehren, dass der Vater auf die Constitution des Kindes im allgemeinen ebenso viel Einfluss hat, wie die Mutter. Aber wir sehen nun auch bei der Befruchtung etwas, was uns wohl den Schlüssel giebt und damit weite Perspectiven auf celluläres Leben überhaupt eröffnet. So verschieden die männlichen und weiblichen Keimzellen sind, in Einem sind sie doch gleich, in ihrer Kernsubstanz. Ununterscheidbar steht schliesslich der herangewachsene Spermakern dem Eikern gegenüber, in vollster Gleichheit nach Grösse, Form und Zahl liegen die väterlichen und mütterlichen Kernelemente neben einander, mit unübertrefflicher Sorgfalt wird bewirkt, dass sie in gleicher Combination auf die Tochterzellen und, wie wir annehmen dürfen, auf alle Zellen des neuen Individuums übergehen. In diesen väterlichen und mütterlichen Kernelementen müssen wohl die dirigirenden Kräfte liegen, welche dem neuen Organismus neben den Merkmalen der Species die individuellen Eigenschaften der beiden Eltern combinirt aufprägen. Und diese Combination der Kernsubstanzen als der Qualitätenträger wäre also das Ziel aller Paarung vom Infusionsthierchen bis zum Menschen.

Vielleicht empfinden Sie in diesem Resultat einen Widerspruch zu dem vorhin formulirten, dass die Kernvereinigung für die Befruchtung ohne Bedeutung sei. Allein die beiden Ergebnisse stehen in bester Harmonie. Denn wenn wir als den Zweck der betrachteten Vorgänge die Qualitätencombination ansehen, und wenn wir andererseits als das Substrat dieser Qualitäten die Kerne von Ei- und Samenzelle betrachten, so begreifen wir, dass diese Kerne an der Differenzirung der Keimzellen sich nicht betheiligen, dass sie nicht ihrer gegenseitigen Ergänzung bedürfen, um das Ei entwicklungsfähig zu machen, sondern dass sie als functionell vollkommen gleichwerthige, nur individuell verschiedene Bildungen in der ersten Embryonalzelle einfach addirt werden.[1]) Ihre Vereinigung ist kein Mittel bei der Befruchtung, sondern ihr Zweck.

Damit ist das Befruchtungsproblem im Grunde erschöpft; es ist aufgegangen, und, wie wir wohl behaupten dürfen, ohne einen unverständlichen Rest aufgegangen in dem allgemeinen Problem der Individuenmischung oder, um einen Ausdruck WEISMANN's zu gebrauchen, der

1) Damit soll jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass als secundäre Erwerbung bei manchen Organismen auch zwischen den Kernen eine Differenzirung eingetreten sein könnte. Verhältnisse, wie wir sie bei der Geschlechtsbestimmung der Biene finden, lassen an solche Verschiedenwerthigkeit der Kerne denken.

Amphimixis. Freilich haben wir auch damit nicht ein Letztes erreicht; denn nun, wo wir die Qualitätenmischung nicht etwa nur als einen Nebeneffect, sondern als den Zweck selbst erkennen müssen, concentrirt sich alles Interesse in der Frage: Was soll die Mischung?

Es wäre eine weitere Erörterung, länger als die bishergige, nöthig, um dieser Frage nur richtig ins Angesicht sehen zu können. Ob es je gelingen wird, sie exact zu lösen, was nur auf experimentellem Weg möglich wäre, erscheint mir im höchsten Grade unwahrscheinlich. Jedenfalls sind wir zu ihrer Beantwortung zur Zeit lediglich auf allgemeine Erwägungen angewiesen, und wie unsicher diese sind, erhellt am besten daraus, dass die Meinungen der competentesten Autoren so weit, wie nur denkbar, aus einander gehen. Auch ist zu beachten, dass das ursprüngliche Motiv, welches zwei einzellige Wesen zu einer Verschmelzung ihrer Protoplasmaleiber gebracht hat, wohl kaum das gleiche war, wie dasjenige, welches zur Beibehaltung und weiteren Ausbildung dieser periodischen Zellenvereinigung bis herauf zu den höchsten Organismen geführt hat. Soll ich wagen, die Anschauung anzudeuten, die mir für diese höhere Stufe am meisten begründet zu sein scheint, so möge dies durch eine Vergleichung geschehen. Wir sind hier zusammen gekommen, Aerzte und Naturforscher aller Zweige und Richtungen, um im Austausch von Erfahrungen und Gedanken die Gesammtheit unserer Wissenschaften zu fördern. Qualitätenmischung auf geistigem Gebiet, dies könnte man wohl als den Zweck bezeichnen, der uns zur Vereinigung gebracht hat. Wie manche befruchtende Idee mag hier, vielleicht ganz unbemerkt, in ein Arbeitsfeld gesäet werden, das aus sich heraus nie dazu gelangt wäre. Sehen wir doch gar deutlich, wie die Lösung grösster wissenschaftlicher Aufgaben selten einer Geistesconstitution und einer Bildungsart allein gelingt, sondern mannigfaltige Kräfte zusammenwirken müssen; ja, wie schon die Verbindung zweier Geister zu gemeinsamer Arbeit oft weit Grösseres zu Tage fördert, als was beide allein hätten leisten können.

Etwas ganz Analoges bietet uns die Qualitätenvereinigung durch Zellenpaarung. Was sie hervorbringen kann, erkennen wir am besten am Menschen selbst. Aus elterlichen Eigenschaften, die für sich nicht als ausserordentliche bezeichnet werden können, mischt sich das Genie. Was aber hier für den Menschen gilt und uns in den Projectionen seiner Gehirnconstitution nach aussen so gewaltig vergrössert entgegentritt, das muss in gleicher Weise für alle Organismen, es muss für Muskeln und Knochen, für Blüthen, Blätter und Wurzeln gelten. Aus den besonderen Eigenschaften, die zwei Individuen entweder aus ihrer Vorfahrenreihe überkommen, oder die ihre Keimzellen unter den besonderen Bedingungen, unter denen diese Individuen lebten, erworben haben, muss sich ein neues Drittes combiniren und unter Umständen etwas Vollkommeneres, als was in der Reihe der Vorfahren je vorhanden war.

Und hier berührt sie unsere Frage mit dem grössten Problem, welches die Zoologie und Botanik bewegt, mit der Entstehung der Lebewelt. Alles, was wir von den organischen Wesen wissen, führt zu der Ueberzeugung, dass die höheren aus niederen durch allmähliche Umbildung entstanden sind, und die ganze organische Welt erscheint uns durch langsame Fortschritte aus primitivstem Urzustand zu höchster Complication aufgestiegen. Ungelöst ist nur die Frage, welche Kräfte dies bewirken konnten. Nun, einer dieser Factoren beim Fortschritt des Organischen scheint — darin stimme ich mit WEISMANN überein — in den Folgen der Individuenmischung gegeben zu sein. Und wenn dies richtig ist, so wäre hier eine Wirkung erkannt, die wohl im Verhältniss steht zu der unermesslichen Rolle, welche die Zellenpaarung in der Welt spielt.

III.

Medicin und Seeverkehr.

Von

H. Curschmann.

Wenn in einer Versammlung von so grosser Mannigfaltigkeit der Interessen und Ziele dem inneren Arzte das Wort vergönnt wird, so ist es ihm meist nicht so leicht, wie manchem anderen Fachmann, es einem allgemein anregenden und entsprechend bedeutenden Gegenstande zu widmen.

Ich war persönlich bei dieser Wahl in glücklicherer Lage.

Die herrliche Stadt, in der wir tagen, Beobachtungen und Studien, die während einer Reihe unvergesslicher Jahre die eigenartigen Verhältnisse Hamburgs mir nahe legten, brachten mir das Thema „Medicin und Seeverkehr" fast selbstverständlich entgegen.

Die Theilnahme der Medicin an den Verhältnissen des Seeverkehrs ist in Deutschland verhältnissmässig jung.

Während andere europäische Staaten, wie England, Frankreich und Holland, entsprechend ihrem alten ausgedehnten Kolonialbesitz, seit Langem praktisch und wissenschaftlich See- und Tropenmedicin treiben und seit Langem entsprechende litterarische Leistungen aufweisen, haben wir naturgemäss diese Wege erst betreten, als mit Begründung und Erstarkung des Reichs unsere Kolonisationsthätigkeit und der gewaltige Aufschwung unseres Handels und Seeverkehrs den Aerzten eine schier erdrückende Menge von Fragen und Aufgaben entgegenbrachte.

Die deutsche Medicin hat sich ihnen mit dem umfassenden Eifer gewidmet, für den ihr Kolonisation und Handel mit glänzendstem Beispiel vorausgingen. Ohne ruhmredig zu sein, dürfen wir schon heute sagen, dass der führenden Stellung des deutschen Seeverkehrs auch die Leistungen der ärztlichen Wissenschaft sich würdig zeigen.

Es sind ungemein vielseitige, gewaltige Aufgaben; die der Seever-

kehr ihr von Anfang stellte und noch täglich anwachsen lässt: Das Studium der ärztlichen und hygienischen Verhältnisse des Schiffes, des Hafens und der Küste, des Wesens, der Verhütung und Behandlung der Krankheiten in fremden Ländern, besonders ihres Verhaltens Eingeborenen und Eingewanderten gegenüber, endlich die Arbeiten auf dem weiten Gebiete der Tropenhygiene und ihrem so überaus wichtigen Sondergebiet der Akklimatisationslehre.

Die Grenzen eines Vortrags gestatten nicht, auch nur andeutungsweise auf alle diese Fragen einzugehen.

Ich möchte daher meine Betrachtungen auf den Seeverkehr im engeren Sinne, auf das Schiff und seine Bewohner und ihre Rolle bei der Entstehung, Verbreitung und Verhütung von Krankheiten beschränken. Noch eine weitere Beschränkung lege ich mir insofern auf, als ich vorzugsweise die dem Handel und allgemeinen Verkehr dienende Schiffahrt und nur gelegentlich die Kriegsmarine, die mit wesentlich anderen, fast durchweg günstigeren Verhältnissen rechnet [1]), in den Kreis meiner Betrachtung ziehen werde.

Das Schiff ist ein schwimmendes, ungemein mannigfaltig zusammengesetztes Bauwerk, das nach Einrichtung, Eintheilung und Bestimmung viel mehr in sich vereinigt, als das Haus, mit dem man es wohl vergleichen hört.

Im Schiff muss auf möglichst engem Raum Alles das sich zusammendrängen und vollziehen, was am Lande auf Wohnhaus und Lazareth, Post und Eisenbahn, Lagerhaus, Arbeits- und Maschinenräume sich vertheilt. Es trägt Bewohner und Ladung hinaus in ferne Länder und bringt Menschen und dort wieder eingenommene Producte mannigfachster Art zurück. Damit wird es Träger, Vermittler und oft selbst Entstehungsort aller möglichen Krankheiten und ihrer Keime, die am Lebenden und Leblosen entstehen, haften und sich fortentwickeln können.

Die naturgemässe Raumbeschränkung in allen Theilen, das enge Zusammensein der Bewohner unter sich und mit der Ladung sind die Grundlagen der meisten Schädlichkeiten.

Sie erschweren vor Allem die gleichmässige und ausgiebige Lüftung, Reinigung und Desinfection, sie steigern die Schwierigkeit der Beschaffung und Erhaltung guter frischer Nahrungsmittel, geeigneten

1) Vergl. PLUMERT, Gesundheitspflege auf Kriegsschiffen. Wien u. Berlin, Urban u. Schwarzenberg.

PORTENGEN, Sanitätsstatistik der wichtigsten Kriegsmarinen der Erde Arch. für Schiffs- und Tropenhygiene. Bd. 1, 2 u. 3.

DAGNY DE DESERT, Études d'hygiène navale. Arch. de méd navale Juni bis Juli 1898.

BUSLEY, Moderne Schiffseinrichtungen. Deutsch. Vierteljahrschr. f. öffentl. Ges.-Pfl. Bd. 29.

Trink- und Gebrauchswassers und sind damit besonders geeignet, der Krankheit in die Hände zu arbeiten.

Stimmen schon diese Verhältnisse die idealistische Ueberschätzung der gesundheitlichen Vortheile der Seereisen und des Seeberufs wesentlich herab, so kommen Nässe, Kälte und Hitze und andere klimatische Einflüsse noch erschwerend hinzu.

Dass alle diese Schattenseiten mehr oder weniger bemerkbar werden je nach Grösse und Beweglichkeit, Bau und Einrichtung, Belegung, Zweck und Ziel des Schiffes, bedarf keiner weiteren Ausführung.

Vergleicht man nun aber Einst und Jetzt, so darf man freudig feststellen, dass Schiffbau und Seeverkehr grosse Fortschritte auf gesundheitlichem Wege gemacht haben, in vielen Beziehungen kaum geringere wie die dem Verkehr selbst dienenden Einrichtungen des Schiffes.

Hat das alte Segelschiff selbst für den Waarenverkehr dem Dampfschiff mehr und mehr weichen müssen, so ist es für den Personenverkehr von ihm fast völlig verdrängt.

Die vermehrte Grösse und Geräumigkeit unserer heutigen Schiffe, ihre ungemein gesteigerte Schnelligkeit und Richtungssicherheit sind die Momente, die uns auch in gesundheitlicher Beziehung die erheblichsten Fortschritte gebracht haben.

Die vermehrte Grösse des Schiffs ermöglicht die Aufbesserung aller für Leben und Gesundheit in Betracht kommenden Räume nach Umfang, Lage und Einrichtung.

Nicht minder und in ebenso vielen Beziehungen wichtig ist die durchschnittliche Steigerung der Schnelligkeit und Richtungssicherheit. Sie ermöglicht rascheres und häufigeres Erreichen der Häfen und damit andere mannigfache und sehr erhebliche Vortheile: Vor Allem ist die weit öftere Aufnahme frischer Nahrungsmittel und Wassers damit von selbst gegeben, auf grösseren Dampfern in einem Maasse, das sie mit der Verpflegung am Lande erfolgreich concurriren lässt.

Nicht minder wichtig ist das häufiger bedingte Aus- und Umladen des Schiffes, das seine weit öftere gründliche Befreiung von Abfallstoffen und allem infectiösen Material, mit anderen Worten eine weit grössere Sicherheit der Desinfection zur Folge hat.

Dass das öftere Anlaufen auch zu einer häufigeren hygienischen Untersuchung der Schiffe führt, ist um so höher zu bewerthen, als die Hafen- und Schiffsbehörden an den wichtigsten Plätzen erheblichste Fortschritte in Bezug auf Zusammensetzung und Leistungsfähigkeit aufzuweisen haben.

Verbesserung der Räume und Einrichtungen zusammen mit der vermehrten Schnelligkeit des modernen Schiffes vermindern endlich die Gefahren, die — ganz wie am Lande — durch länger dauernde Massenanhäufung von Menschen in unzulänglichen

Räumen erwachsen und besonders die Erhaltung, Fortentwicklung und Uebertragung pathogener Keime bedingen.

So sind heute schon gewisse Krankheiten, die ehedem eine Geissel des Schiffsverkehrs waren, in der deutschen Kriegs- und Handelsmarine zu geringer Bedeutung herabgesunken. Ich nenne in erster Reihe den Scorbut, den Unterleibstyphus und die Ruhr[1]).

Andere sind freilich geblieben und mahnen ernst, dass wir von der wünschenswerthen Vervollkommnung der Schiffshygiene noch weit entfernt sind.

Ja, es stellt sich mehr und mehr heraus, dass manche technische und sociale Fortschritte des heutigen Seeverkehrs den gesundheitlichen nicht durchweg parallel gehen und in mancher Hinsicht selbst in einem gewissen Gegensatz zu ihnen stehen.

So hat gerade die vorher ins helle Licht gestellte Beschleunigung des modernen Seeverkehrs auch ihre ernsten Schattenseiten.

Es ist vor Allem klar, dass sie die Einschleppung von Krankheiten aus fernen Ländern begünstigt, die unseren Gegenden entweder völlig unbekannt waren oder nur selten und unter besonderen Umständen sich bei uns geltend machten.

Die Fahrzeit aus manchen überseeischen Ländern ist heute kürzer geworden wie die Incubationszeit dort heimischer Seuchen. Trotz bester gesundheitlicher Ueberwachung können bei anscheinend gesund eingeschifften, ja scheinbar gesund bei uns wieder gelandeten Personen Infectionskrankheiten zum Ausbruch kommen, deren Keime sie drüben in sich aufnahmen.

Dass diese Krankheitserreger auch an der Ladung des Schiffes, seinen Räumen und Effecten und zum Theil in seinem Bilsch- und Ballastwasser unter solchen Umständen leichter haften und wirksam bleiben, ist theoretisch und praktisch unbestreitbar. Wir werden darauf mehrfach zurückkommen müssen.

Wenden wir uns nun von der Betrachtung des modernen Schiffes und seiner Verbesserungen nach Bau und Function seinen Bewohnern zu, so zeigt sich, dass diese von ihnen in sehr ungleicher Weise berührt werden.

Im Ganzen kommen alle Fortschritte viel mehr dem labilen Theil der Schiffsbewohner, den Passagieren, als dem ständigen Theil, der Mannschaft, zu Gute.

---

1) Einen Begriff von der Bedeutung, die diese Krankheiten früher hatten, geben besonders die Berichte aus den Auswanderer-Hospitälern.

So verzeichnet der Annual Rep. of the Commiss. of Emigr. New York 1861 aus dem Auswandererkrankenhaus in Wards Island unter 64461 vom 1. Januar 1852 bis 31. December 1860 aufgenommenen Kranken:

2691	Fälle von Abdom.-Typhus	mit 650 Todesfällen	(24,15 Proc.),
4865	„ „ Ruhr und Durchfall	„ 972 „	(19,98 „).

Für Wohlhabende, die sich die Fahrt in I. Klasse leisten können, ist die Seereise auf einem der modernen grossen Dampfer, von ihrer Bequemlichkeit ganz abgesehen, gesundheitlich in jeder Richtung weit besser und sicherer geworden, wie jede Landreise, selbst die Fahrt im vielgerühmten Luxuszug.

Auch für die minder Bemittelten, die Zwischendeckspassagiere, ist in Bezug auf Unterkunft und Ernährung weit besser als früher gesorgt, und wenn wir auch vom hier Erwünschten und Erreichbaren in mancher Hinsicht noch weit entfernt sind, so gleicht doch schon die verminderte Dauer der heutigen Reisen so manche Schädlichkeiten aus, die sich früher bei längerer Einwirkung regelmässig und ausgedehnt geltend machten.

Am wenigsten günstig liegen, wie gesagt, die hygienischen Verhältnisse für die dauernden Bewohner der Schiffe, die Matrosen, Feuerleute und sonstigen Arbeiter. An ihnen äussern sich die hygienischen Mängel, die, trotz zweifellos besten Willens aller Betheiligten, noch immer der Besserung harren.

Sie werden am besten hervortreten bei der Betrachtung der mit dem Seeverkehr verknüpften wichtigsten Krankheiten, der ich mich nun zuwende.

Man kann diese Krankheiten in zwei grosse Gruppen bringen:

1. Krankheiten, deren Keime an leblosen Gegenständen haftend oder durch inficirte Menschen eingeschleppt werden und, durch die besonderen Verhältnisse des Schiffs begünstigt, während der Fahrt oder nach der Landung ausbrechen und oft genug epidemisch anschwellen.

2. Krankheiten, die durch den Schiffsaufenthalt speciell bedingt oder gefördert werden, theils durch ungünstige allgemeine Einflüsse, Kälte und Hitze, Nässe u. s. w., theils durch die eigenartigen Lebens- und Beschäftigungsverhältnisse der Schiffsbewohner.

Zur letzteren Gruppe gehören die zahllosen rheumatischen Erkrankungen, die Katarrhe und entzündlichen Affectionen der Athmungsorgane, die Seekrankheit, der Scorbut, die Tuberculose und gewisse Berufskrankheiten der Seeleute, besonders die bei Heizern und Feuerleuten sich geltend machenden.

Der Scorbut, ehedem wohl die wichtigste und gefährlichste Schiffskrankheit, hat, wie schon gesagt, den modernen Einrichtungen und verbesserten Ernährungsweisen fast völlig weichen müssen.

Während in früheren Zeiten, besonders bei den unberechenbar langen Reisen unter Segel und in höheren Breiten die Seuche oft genug die Schiffsbevölkerung decimirte, ja nicht selten mehr als die Hälfte befiel und tödtete, kann sie heute fast ausser Rechnung gesetzt werden [1]),

---

1) Bei Reisenden gehört die Krankheit auf See heute zu den grossen Seltenheiten. Nur unter den Mannschaften kleinerer Schiffe, besonders von Segelschiffen,

ein sprechender Beweis für die unfehlbare Wirkung zielbewusster hygienischer Maassregeln.

Anders steht es leider noch mit der Tuberculose.

Selbst in ärztlichen Kreisen ahnen die Wenigsten, dass sie auf See eine noch grössere, unheilvollere Rolle wie am Lande spielt.

Besonders scharf tritt dies bei der Schiffsmannschaft hervor, und während in den meisten Beziehungen die Kriegsmarine sich weit günstigerer Verhältnisse wie die Handelsmarine erfreut, liegen sie bezüglich der Tuberculose für beide in den meisten Ländern fast noch gleich schwierig.

In den Hamburger und Bremer Krankenhänsern sind 38 Proc. aller bei Seeleuten vorkommender Todesfälle die Folge von Lungentuberculose.[1]) Fast genau die gleiche Zahl, 39 Proc., wurde in den Seemannskrankenhäusern Frankreichs festgestellt.[2]) Sicher ist aber diese Sterblichkeit noch erheblich grösser, wenn man bedenkt, dass viele Tuberculöse nicht in den Hafenspitälern bleiben, sondern in der Heimath sterben.

Noch ungünstiger würde sich gewiss das Bild gestalten, wenn wir, was heute aus äusseren Gründen nicht genügend durchführbar, ausser der Sterblichkeitsziffer die der Erkrankungen überhaupt feststellen könnten.

Aber auch jetzt schon dürfen wir behaupten, dass die Tuberculose unter den Seeleuten mehr Opfer fordert als unter den entsprechenden Alters- und Beschäftigungsklassen am Lande.

Ihre Häufigkeit beweist unzweideutig die grosse Bedeutung des nahen Zusammenseins Tuberculöser mit Gesunden für die Entstehung und Verbreitung der Krankheit. Die Hauptrolle spielen dabei

und während der Fahrten in arktischen Regionen mit seltener Gelegenheit, in Häfen anzulaufen, zeigt sie sich noch manchmal.

Das Hamburger Med. Amt verzeichnet in einem Bericht über 4 Jahre nur 50 Scorbutfälle auf 9 Schiffen.

1) NOCHT, Gesundheitsverhältnisse der Handelsmarine, Vierteljahrsschr. f. Ges.-Pfl. Bd. 29.

2) THIERRY, Ber. des Congr. f. Hyg. und Demographie Paris 1890. — Derselbe, Hygiene des Schiffsverkehrs. Arch. f. Schiffs- und Tropenhygiene. Bd. V, S. 1.

L. VINCENT weist nach, dass ungeachtet aller Vorsichtsmaassregeln bei der Einstellung die Tuberculose 1/4 aller Todesfälle in der französischen Kriegsmarine verursacht.

Im Militärhospiz zu Brest bezogen sich 46,8 Proc. Todesfälle auf Tuberculose,
in Toulon „ „ 26,0 „

1891—1895 betrug die Tuberculosesterblichkeit in der Kriegsmarine 25,8 Proc., in der Landarmee nur 17,4.

Vergl. auch VINCENT und BUROT, Statist. méd. de la flotte francaise. Annal. de méd. nav. et colon. Januar 1897.

zweifellos die Bacillen im Auswurf, für deren Erhaltung, Verbreitung und Uebertragung die Verhältnisse des Schiffes besondere Begünstigungen bieten. Namentlich sind hier hervorzuheben: die viel zu beschränkten, dazu meist ungünstig gelegenen Unterkunftsräume für die Mannschaften[1]), die nur unvollkommene Durchführbarkeit der Desinfection der Fussböden, Wände, Betten, Wäsche und Effecten und der fast überall noch bestehende Mangel an Bade-Douche- und ausreichenden Wascheinrichtungen[2]), die selbst für die Zwischendeckspassagiere jetzt meist genügend vorhanden sind.

Objective Beobachter lernen aus diesen Dingen — eigensinnige Anticontagionisten sind überhaupt nicht zu überzeugen —, dass schlechte örtliche Verhältnisse und Einrichtungen die günstigsten allgemeinen und persönlichen Verhältnisse zu neutralisiren im Stande sind: Gesundheitlich ausgewählte, im kräftigsten Alter stehende Männer[3]) sehen wir unverhältnissmässig zahlreich erkranken während des Seeaufenthalts, dessen klimatische Vorzüge mit Recht so sehr gepriesen und bei der Behandlung der Tuberculose mit Vorliebe herangezogen werden.[4])

Vielleicht hat man, hierauf zu sehr bauend, einem der grössten Feinde der Seefahrer bisher nicht die entsprechende Beachtung geschenkt.

Sehr charakteristisch in dieser Beziehung ist es, dass der jüngste Londoner Tuberculosecongress mit seinen gründlichen, in alle Verhältnisse hineinleuchtenden Erörterungen kein Wort für die Seemannstuberculose hatte.

1) Auch heute noch sind meines Wissens gesetzlich nur 2 Cubikmeter Unterkunftsraum pro Kopf vorgeschrieben.

Auf manchen Schiffen sind diese nicht einmal in einer der Mannschaftszahl entsprechenden Zahl vorhanden, so dass sie, häufig sogar mit Bettzeug, Wäsche und Kleidungsstücken, von mehreren Personen abwechselnd in Benutzung zu ziehen sind.

Vielfach befinden sich dazu noch die betreffenden Räume tief unter Deck, was ihre Ventilation und Reinigung natürlich sehr erschwert.

2) Auf Kriegsschiffen ist in dieser Beziehung sehr ausreichend gesorgt, und auch auf den modernen grossen Dampfern der Handelsmarine werden jetzt meist genügende Einrichtungen getroffen.

3) Die gesundheitlich geprüften und sorgsam ausgewählten Seeleute stehen in den besten Jahren. Sie sind selten unter 15 oder über 50 Jahre alt. Das Durchschnittsalter beträgt etwa 29 Jahre (Nocht).

4) Es mag hierbei die Bemerkung am Platze sein, dass nirgends so einfache Verhältnisse gegeben sind für die Beobachtung und Feststellung der grossen Bedeutung der unmittelbaren Uebertragung von erkrankten Personen und ihrem Auswurf für die Ausbreitung der Tuberculose. In überfüllten Wohnungen, Armenhäusern und Gefängnissen, die bisher in dieser Beziehung fast ausschliesslich herangezogen werden, liegen die Verhältnisse — erinnern wir uns nur an Alter, Geschlecht, Beschäftigung, Erblichkeit, körperliche Zustände und Ernährung der Insassen — bei weitem nicht so einfach und klar wie auf dem Schiffe.

Sicher bedarf es nur der offenen scharfen Beleuchtung des den Schiffsärzten längst bekannten Uebels, um Schiffsbesitzer und Behörden zu entsprechenden Abwehrmaassregeln zu veranlassen.

Ausser der Abstellung der schon erwähnten Missstände in Bezug auf Unterkunft, Lüftung und Desinfection sollten hierbei die persönlichen Verhältnisse der Schiffsbewohner sachgemäss berücksichtigt werden. Vor Allem der Gesundheitszustand der anzuwerbenden Mannschaften in Bezug auf Veranlagung zur Tuberculose oder bereits bestehende Veränderungen, sodann auch das gesundheitliche Verhalten der Reisenden, besonders der Zwischendeckspassagiere. Schwer Kranke sollten ausgeschlossen oder doch abgesondert werden. Reisen oder Dienstleistungen Tuberculöser auf Schiffen zu Heilzwecken sollten überhaupt nicht oder nur unter besonderen Vorsichtsmaassregeln gestattet werden. Belehrungen durch Wort und Schrift würden an Bord wie am Lande ausserdem am Platze und von Nutzen sein.

Wenn man die Tuberculose leider heute noch beinahe als Berufskrankheit der Seeleute auffassen kann, so ist dies in vollstem Umfang für eine Anzahl complicirter Krankheitszustände der Fall, die man je nach Verlauf und Ausgängen als Hyperthermie, Hitzeerschöpfung und Hitzeschlag zu bezeichnen pflegt.

Nicht Wirkung der Sonnengluth ist ihre Ursache, sondern der längere Aufenthalt in den überhitzten Maschinen- und Kesselräumen des Schiffes und den ihnen benachbarten Kohlenbunkern, in denen die Heizer und Kohlentrimmer die schwerste Arbeit zu leisten haben.

Verglichen mit den in industriellen Betrieben am Lande thätigen Feuerleuten, sind die auf Schiffen beschäftigten unvergleichlich ungünstiger gestellt.

Sie arbeiten in kaum abkühlbaren, mangelhaft ventilirbaren Räumen, deren Temperatur sich meist zwischen 30 u. 40° hält, nicht selten auf 50° und selbst darüber sich erhebt und bei den meisten, als theoretisch und praktisch wichtige nächste Folge, zu einer nicht unerheblichen Steigerung der Eigenwärme des Körpers führt.[1]) Suchen sie nach beendeter Arbeit ihre Ruheräume auf, so verbessern sie sich hier nur wenig, da diese, tief im Schiffskörper gelegen, dem einzelnen Mann im günstigsten Fall 2 cbm Raum bieten.

---

1) Nocht, l. c., fand bei 58 Heizern auch bei nur 24° im Raume bei keinem unter 37,7 Körpertemperatur, 23 derselben hatten 38 und darüber. Bei Temperaturen des Raumes über 35° fand er unter 12 Mann nur zwei, die nicht eine Temperatur von 38° und darüber hatten.

Auch Lauenstein (ibid.) stellte bei 12 Heizern mit vor Dienstantritt normaler Körperwärme 7mal Steigerungen derselben auf 38—38,6 fest.

Statistisch ist über die Erkrankungen der Feuerleute, deren klinische Betrachtung ausser dem Plan meines Vortrags liegt[1], wenig Sicheres zu sagen. Bestimmt ist aber die Erkrankungs- und Sterblichkeitsziffer sehr erheblich, wenn man die leichteren Zustände von Hyperthermie hinzurechnet und von chronischen Zuständen die damit in unmittelbarem oder mittelbarem Zusammenhang stehenden, so gewisse Herzmuskel- und Nierenerkrankungen sowie Arteriosklerose.

Einen Begriff von der directen Gefahr der fraglichen Zustände giebt die Berechnung des Hamburger Hafenarztes Nocht (l. c.), der 16 Proc. aller Todesfälle an Bord und in der Fremde ihnen zuschreibt und mit Recht ihre Bedeutung noch durch die Bemerkung steigert, dass dieser Berechnung eigentlich nicht die gesammte Mannschaft, sondern nur ihre kleinere Hälfte, die Heizer und Trimmer, unterworfen werden dürften.

Die Statistik unserer Kriegsmarine beweist mit ihren viel günstigeren Zahlen bei gesundheitlich gleichwerthigem Mannschaftsmaterial, was sich durch genügende Einrichtungen und grössere Sorge für den betreffenden Theil der Mannschaft erreichen lässt.

Auch auf der Handelsmarine würde ohne zu grosse Opfer Vieles zu bessern sein. Durch mässige Vermehrung des Personals liesse sich dem Einzelnen mehr Ruhezeit gewähren. Neben Vergrösserung und Besserung der Schlafräume wäre für Bade- und Brauseeinrichtungen, besonders mit Süsswasser, zu sorgen, die meines Wissens heute noch vielfach fehlen. Endlich liesse sich die unzureichende natürliche Ventilation in den Heiz- und Maschinenräumen durch entsprechende maschinelle Einrichtungen gewiss wesentlich verbessern.

Wenn ich hier und auch schon vorher Manches zur Sprache brachte, was ärztlich dringend der Aenderung oder Neueinrichtung bedarf, so fühle ich mich gegen den etwaigen Vorwurf unpraktischen Theoretisirens sicher.

Ich bin mir wohl bewusst, dass man sich gerade auf dem fraglichen Gebiet vor einseitigen ärztlichen Forderungen zu hüten hat. Auch der Arzt darf nicht vergessen, dass an Bord naturgemäss die Grenzen weit enger gesteckt sind wie am Lande, und dass den hygienischen Forderungen diejenigen an die Beweglichkeit, Schnelligkeit und Rentabilität des Schiffes mindestens gleichwerthig sind.

Zweifellos werden aber gewisse gerechte Ansprüche, wenn die Aerzte sie klar und mit weiser Beschränkung geltend machen, bei zukünftigen Schiffsbauten sich erfüllen lassen. Am guten Willen der

---

1) Vergl. Däubler, Grundzüge der Tropenhygiene.

P. Schmidt, Ueber Hitzeschlag an Bord von Dampfern der Handelsmarine, seine Ursachen und Abwehr. Arch. für Schiffs- und Tropenhygiene. Bd. V, Nr. 7 u. 8, 1891.

Behörden, besonders auch unserer grossen Rhedereien[1]) ist nicht zu zweifeln.

Von fast noch grösserer, allgemeinerer Bedeutung wie die bisher besprochenen Krankheiten ist das Verhältniss des Seeverkehrs zu denjenigen, die vom Lande aufs Schiff eingeschleppt werden oder auf bereits inficirten Schiffen während der Fahrt hervortreten.

Es liesse sich hier die ganze grosse Gruppe der acuten Infectionskrankheiten heranziehen. Doch erweisen sie sich bei näherer Betrachtung von sehr verschiedener Bedeutung für den Seeverkehr. Einzelne haben, wie schon hervorgehoben, heute ihre Wichtigkeit verloren, anderen war ihrer Natur und Verbreitungsweise nach nie eine solche zuzuschreiben.

Um so mehr Beachtung verdient eine besckränkte Zahl von Krankkeiten, die schon seit Langem unseren Schiffsverkehr gefährden oder sich neuerdings für ihn immer drohender gestalten.

Unter allen spielt nicht nur in Bezug auf Häufigkeit und Bösartigkeit das gelbe Fieber die hervorragendste Rolle, sondern auch darum, weil es von allen Seuchen am innigsten mit dem Seeverkehr verknüpft ist.

Nicht einmal die Tuberculose fordert so viele Opfer. Fast $^1/_4$ (24,4 Proc.) aller Todesfälle bei Seeleuten ist der Seuche zuzuschreiben, und, wenn man die Todesfälle auf der Reise und in fremden Ländern, die ja bei Gelbfieber allein in Betracht kommen, für sich berechnet, so sind 42 Proc. darauf zurückzuführen[2]).

Hat unser deutscher Seeverkehr sich bisher auch nur auf die kleinere Zahl der tropischen und subtropischen Heimathsgegenden der Seuche ausgedehnt[3]), so sind, von der stetigen Weiterverbreitung un-

---

1) Handelt es sich doch um eine grosse Zahl von Männern auf der Höhe der Arbeitsfähigkeit. Nach dem Jahresbericht der Seeberufsgenossenschaft für das Jahr 1900 gab es in der deutschen Handelsmarine im December 1900:

	1491 Segelschiffe	mit 9738	Mann Besatzung,
	1208 Dampfschiffe	„ 34481	„ „
	232 Hochseefischerei-Fahrz. (Dampf- u. Segelsch.)	„ 2854	„ „
Im Ganzen also:	2931 Fahrzeuge	mit 47073	Mann Besatzung.

Für freundliche Mittheilung dieser Zahlen bin ich Herrn Dr. NOCHT sehr verbunden.

2) NOCHT, Gesundheitliche Verhältnisse der Handelsmarine. Vierteljahrsschr. f. öffentl. Gesundheitspfl., Bd. 29.

3) Bei dem raschen Wachsthum unseres Schiffsverkehrs ist es für uns schon jetzt wichtig, die Hauptgegenden der Seuche ins Auge zu fassen: die tropischen und die um den Wendekreis gelegenen Küstengegenden von Amerika, die ganze Ostküste von Mexico mit dem Golf, die grossen Antillen und übrigen Inseln des Caraibischen Meeres, die Westküste von Afrika, besonders Senegambien uud Sierra Leone.

serer überseeischen Beziehungen abgesehen, für Deutschland doch schon jetzt die grossen Häfen der brasilianischen Küste von besonderer Wichtigkeit. Die von dort berichteten Epidemien auf deutschen Schiffen mahnen zu grosser Vorsicht.

Erst wenn wir sichere Kenntnisse über Wesen und Entwicklung des Gelbfiebererregers erlangt haben werden[1]), wird sich die auffällige, prophylaktisch so bedeutsame Thatsache erklären lassen, dass die Krankheit fast ausschliesslich an die Meeresküste sich hält, von wo sie höchstens noch eine Strecke weit in den grossen Flussthälern aufsteigt.

Auch bei ihrer weiteren Verbreitung folgt die Seuche fast nur den Wegen des grossen Seeverkehrs. Das Schiff und seine Bewohner sind hier die Vermittler. Im erkrankten Menschen — ob andere Lebewesen, z. B. die in letzter Zeit so viel genannten Stechfliegen, dabei noch eine erhebliche Rolle spielen, ist zweifelhaft — reproducirt sich das Krankheitsgift, um direct oder indirect auf Disponirte übertragen zu werden.

Für das Schiff besonders bedeutsam ist die Erfahrung, dass das Contagium in warmen Gegenden, bei wenig bewegter Luft, lange und mit grosser Zähigheit an den verschiedenartigsten leblosen Gegenständen sich wirksam erhält. Den Schiffsärzten ist die Gefährlichkeit von Effecten und Waaren aus durchseuchten Orten bekannt. Sie wissen, wie schwer gewisse Verladungsgegenstände, Häute, Wolle, Stoffe und dergleichen, zu desinficiren sind, und wie fest das Contagium oft in einzelnen Theilen des Schiffes, selbst bestimmten Cajüten und Wohnräumen haftet.

Wenn trotzdem die Krankheit, da ihr Gift gegen Kälte und bewegte Luft wenig widerstandsfähig zu sein scheint, gewöhnlich nur in tropischen und subtropischen Gegenden von Küste zu Küste verschleppt und dort unseren Seeleuten und Reisenden gefährlich wird, so sollten doch früher wiederholt vorgekommene Einschleppungen nach Europa zur Vorsicht mahnen. Italien, Spanien und andere Küstengegenden des Mittelmeers, selbst England haben den schlimmen Gast schon früher beherbergt, und bei der Schnelligkeit und Ausdehnung unseres heutigen Seeverkehrs ist während der warmen Jahreszeit eine Gefährdung der europäischen Küsten noch weniger wie ehedem ausgeschlossen.

Leider ist von den seefahrenden europäischen Staaten und auch von Deutschland den Verhütungsmaassnahmen gegen die Seuche bisher durchaus ungenügende Beachtung geschenkt.[2])

1) Vergl. Sodré und Conto, Gelbfieber. Nothnagel's Handb. der spec. Pathol. und Therapie.

2) Ein im Jahre 1882 vom Reich gegebener Entwurf zu Vorschriften für Capi-

Der Erlass nutzbringender Vorschriften wird freilich nicht leicht sein. Sie werden sich an sehr verschiedene Kreise, nicht allein an Aerzte und Sanitätsbehörden, sondern auch an Laien, namentlich Capitäne und Schiffsführer, wenden müssen, da ja naturgemäss nur die grösseren Fahrzeuge, also die erhebliche Minderzahl, Aerzte haben.

Eine wichtige Aufgabe würde dazu noch den an verdächtigen Häfen ansässigen Consularbehörden und anderen Vertrauenspersonen zufallen. Mit den socialen und gesundheitlichen Verhältnissen ihres Ortes genau bekannt, werden sie den einlaufenden heimischen Schiffen die Berichte und Rathschläge geben, die ihnen aus mancherlei Gründen von den eingeborenen Behörden oft vorenthalten werden.

Ist das Bestehen der Krankheit in einem Hafenort festgestellt, so gilt es vor Allem, die Schiffsmannschaft nicht landen und die Ausladung des Schiffes durch Eingeborene besorgen zu lassen. Ein Muster von Einsicht und darauf begründeter Selbsthülfe hat in dieser Beziehung die Hamburg-Südamerikanische Gesellschaft geboten. In angemessener Entfernung vom Lande an der brasilianischen Küste (bei Santos) erwarb sie eine vom Seewind bestrichene Insel (Ihla de Palmas), auf der bei herrschendem Gelbfieber die Mannschaften von der Ankunft bis zur Weiterfahrt während der Verladung durch Eingeborene streng zurückgehalten werden.

Diesem Beispiel zu folgen, würde auch anderen Gesellschaften und Behörden gewiss nicht schwer sein. Es scheint, wie wenn die Wahl eines vom Lande und der Einmündung der Flüsse entfernten, unter Seebrise gelegenen Ankerplatzes schon genügte. In Vera Cruz blieben z. B. die Schiffe verschont, die nur 3 Meilen vom Lande auf der Rhede ankerten.

Auch höher gelegene Orte (5—600 Meter u. darüber) in dem nach dem Ufer vielfach terrassenförmig abfallenden Gelände der betreffenden Gegenden würden wohl leicht und mit Erfolg heranzuziehen sein.

Ob und wie weit die neuerdings von Feire, Carmona y Valle, Finaly und Delgabo warm empfohlenen Schutzimpfungen nützen und andere Vorbeugungsmaassregeln überflüssig machen werden, ist bei unseren mangelhaften bakteriologischen Kenntnissen noch sehr zweifelhaft.

Der prophylaktische Werth der Darreichung von Chinin, Arsenik und Salicylpräparaten wird wohl von keinem urtheilsfähigen Arzte mehr besonders geschätzt.

Dass verseuchte Schiffe mit Mannschaft und Passagieren, Kranke und ihre Effecten strengen Quarantainemaassregeln zu unterwerfen

---

täne und Schiffsführer scheint nicht genügend beachtet worden zu sein. Eine erneute Ausarbeitung und Erweiterung derselben im modernen Sinne wäre gewiss räthlich.

sind, wird auch von denen, die anderen Krankheiten gegenüber mit Recht unnöthige, ja schädliche Härten in ihnen erblicken, nicht bestritten werden. Dagegen wird man bei der geringen Dauer der Incubationszeit (2—4 Tage) die vielfach übertriebene Isolirung Gesunder in Zukunft wesentlich abkürzen können, wie dies in den Reglements einzelner Staaten, z. B. Frankreichs, bereits zum Ausdruck gekommen ist.

Eine gleichfalls nur in tropischen und subtropischen Gegenden heimische, oft durch den Schiffsverkehr verbreitete Infectionskrankheit ist das Denguefieber.

Sein äusserst flüchtiges, bisher nicht näher bekanntes Contagium, das von Person zu Person leicht übertragbar ist, wird durch das Schiff in heissen Ländern leicht von Hafen zu Hafen verschleppt. Selbst bis zu den Mittelmeerhäfen (Türkei und Griechenland 1889)[1]) drang die Krankheit mit dem Seeverkehr vor. Nur schwächliche Personen, Kinder und Greise werden durch sie ernstlich gefährdet, während gesunde Erwachsene, mithin die Schiffsmannschaft, meist leicht und ohne dauernden Schaden die Krankheit üserstehen. Trotzdem ist grosse Vorsicht der Seuche gegenüber geboten, weil sie durch Massenerkrankungen unter der Mannschaft den Schiffsbetrieb ernst gefährden kann.

In dem Maasse, wie unser Seeverkehr mit Brasilien und Ostasien, besonders Japan wächst, hat sich unser Interesse einer dort heimischen eigenartigen Infectionskrankheit, dem Beri-Beri, zugewandt.

Auch diese, besonders in den Küsten-Niederungen und hier mit Vorliebe an den Flussmündungen entstehende und herrschende Krankheit heftet sich vorwiegend an den menschlichen Verkehr. Schwere ausgedehnte Schiffsendemien und Verschleppung von Hafen zu Hafen sind die Folge davon.

Zahlreiche Berichte vom Ausbruch der Krankheit auf hoher See auf holländischen, französischen, japanischen und brasilianischen Fahrzeugen mahnen zu grosser Achtsamkeit. Sie sollte besonders auch der Desinfection der Schiffe zugewandt werden, da wiederholt auf Fahrzeugen ohne Anwesenheit von Kranken, nachdem sie früher von solchen benutzt worden waren, die Seuche hervortrat und sich rasch verbreitete.

Man hört zwar häufig genug, die Krankheit befalle nur die farbige Rasse und sei an das tropische und subtropische Klima gebunden. Dies ist nur bedingt zutreffend[2]) und dazu keineswegs beruhigend. Auch

1) Plumert, l. c.

2) Im Indischen Archipel und Brit. Indien soll etwa 1 Weisser auf 100 Farbige an Beri-Beri erkranken, in Japan scheint das Verhältniss für die Weissen sich noch günstiger zu stellen.

Weisse werden, wie zahlreiche Beispiele lehren, befallen, und die Erkrankungen der Farbigen sind, ganz abgesehen von humanen Rücksichten, für uns insofern von grosser Bedeutung, als wir in der Fremde auf unseren Schiffen ihrer Arbeit dringend bedürfen.

Dazu ist die Krankheit durchaus nicht so sehr wie etwa Gelbfieber und Dengue an warme Gegenden gebunden. Ist sie doch auf der nördlichsten Insel des japanischen Reichs (Jesso) heimisch, deren Klima sich von dem mitteldeutschen nicht erheblich unterscheidet.[1])

Eine Mahnung sollte auch die kürzlich von SPLIED[2]) beschriebene bösartige Beri-Beri-Endemie auf einem Hamburger Schiffe sein, von dem zwei Patienten ins Hamburger allgemeine Krankenhaus kamen, wo ich (nebenbei gesagt) schon vor Jahren manche schwere auf die Krankheit zu beziehende Affection bei weissen Matrosen beobachten konnte.

Dass, wie so häufig, neuerdings auch Uebertreibungen sich geltend machen und selbst andere Seuchen, z. B. Scorbut, mit Beri-Beri verwechselt werden, hat erst kürzlich NOCHT[3]) mit Recht hervorgehoben.

Gewissen Infectionskrankheiten gegenüber, die am Lande wie auf See und dazu weit unabhängiger von klimatischen Einflüssen dem menschlichen Verkehr entgegentreten, hat die jetzt gelungene Klarstellung des Wesens ihrer Infectionsträger entsprechende Erfolge gebracht oder doch für die Zukunft in sichere Aussicht gestellt. Hierher gehören vor Allem der Unterleibstyphus und die Cholera.

Die unklaren Vorstellungen von ihrer „contagiös-miasmatischen“ Natur und die unglückselige Grundwassertheorie sind nun glücklich beseitigt. Wir wissen, dass beide Krankheiten lediglich durch ein im Menschen reproducirtes Gift entstehen, das, auf bestimmten und bekannten Wegen ausgeschieden, wieder direct oder indirect vom Verdauungsapparat der zu Inficirenden aufgenommen wird.

Wir kennen die Medien, an denen auch ausserhalb des Körpers die Keime sich zu halten vermögen, wir kennen ihre Widerstandsfähigkeit unter den verschiedensten Bedingungen.

Auch für das Schiff, so sehr seine besonderen Eigenschaften jede Infection begünstigen, ist damit die Bekämpfung dieser Seuchen ungemein erleichtert.

Für Ueberwachung aller Räume, der Ladung, der Nahrungsmittel und des Wassers sind hiermit ebenso bestimmte Normen gegeben, wie für die Behandlung der Kranken und ihrer Ausscheidungen im Sinne infectiöser Objecte.

Besonders auch bezüglich des Bilschwassers[4]), das früher eine

1) BÄLZ, Handbuch der spec. Pathol. und Therapie. Tokio 1900.

2) Arch. für Schiffs- und Tropenhyg. Bd. III, S. 207 ff.

3) Arch. für Schiffs- und Tropenhyg. Bd. V, Heft 1, S. 30.

4) Das Bilschwasser (Kielwasser) setzt sich bekanntlich aus dem von aussen und dem aus dem Schiffe selbst in den Kielraum eindringenden Wasser zusammen.

so nebelhafte Rolle spielte, sind wir zu einer klaren Auffassung gelangt Wir können die Keime in ihm nachweisen und je nach seiner Beschaffenheit ihre meist geringe Lebensdauer[1]) vorausbestimmen. Wir wissen aber auch, wie schwer die ausgiebige Desinfection, besonders der beladenen Schiffe, und wie wichtig darum die Verhütung der Verunreinigung des Kielwassers ist.

Viel gefährlicher noch in Bezug auf Cholera, Typhus und verwandte Keime ist nach den Erfahrungen der Schiffs- und Hafenärzte das in den Tanks enthaltene Ballastwasser[1]). Wenn auch von Hause aus steril gefüllt, so können die Tanks, wenn sie in der Fremde neues Wasser, besonders Süsswasser aus verdächtigen Häfen aufnehmen, leicht inficirt werden. Nocht und Dunbar (l. c.) konnten von Choleravibrionen nicht zu unterscheidende Gebilde in ihrem Inhalt nachweisen.

Dass solche verdächtige Schiffe nicht im Ankunftshafen, wo sie dessen Wasser inficiren würden, ihre Tanks entleeren dürfen, liegt auf der Hand. Der Wasserwechsel hat unbedingt noch auf See oder jedenfalls auf der Rhede zu geschehen.

Bezüglich des Typhus sind auf deutschen grösseren und gut eingerichteten Schiffen die Verhältnisse jetzt so gebessert und gesichert, dass er als Schiffsseuche oder Object der Verschleppung kaum mehr in Betracht kommt.

Immerhin ist unausgesetzte Vorsicht nöthig. Hatte doch die französische Kriegsmarine noch 1891—1895 unter 1000 Todesfällen 147 auf Typhus zurückzuführende. Und in jüngster Zeit werden unsere Blicke wieder auf unsere aus China heimkehrenden Schiffe gelenkt, die im unhygienischsten Lande der Welt nicht vor Typhus und Ruhr bewahrt werden konnten.

Wie die Cholera sich zum Schiffsverkehr verhalten wird, muss die Zukunft lehren. Die moderne Auffassung und derselben entsprechendes umsichtiges und consequentes Handeln eröffnen günstige Aussichten.

Im Gegensatz zu Pettenkofer müssen wir vor Allem festhalten, dass Schiffe keineswegs immun sind, dass im Gegentheil die ärztlich nicht überwachten kleineren Dampfer und die Segelschiffe die Verschleppung der Seuche sehr begünstigen. Hier können die Hafenärzte durch genaue Ueberwachung der Schiffsbe-

Das letztere wird besonders von dem mit excrementellen und Abfallstoffen beladenen Spül- und Scheuerwasser geliefert, wodurch der durchschnittlich sehr hohe Keimgehalt bedingt wird.

Die Beschaffenheit des von aussen eindringenden Wassers scheint, je nachdem es sich um See- oder Süsswasser handelt, den Keimgehalt wesentlich zu modificiren. Hoher Salzgehalt wirkt selbstverständlich ungünstig auf denselben.

1) Vergl. Forster und Ringeling, Arch. f. Hyg. und Infectskr. Bd. 12 und Dunbar, Arb. aus d. Kais. Ges. Amt. Bd. X.

völkerung bei der Ein- und Ausfahrt, der Ladung, des Bilsch- und Tankwassers viel Unheil verhüten.

Auch die Pestgefahr ist bei der heutigen genauen Kenntniss ihres Erregers und seiner Verbreitungsweise besonders durch Thiere für Deutschland weit geringer, wie furchtsame Gemüther denken. Die musterhafte Organisation der Gesundheitsbehörden unserer Hafenstädte bürgt für wirksame Maassregeln. Wie ein einzelner Fall leicht und sicher für die Gesammtheit unschädlich gemacht werden kann, hat der im August vorigen Jahres hier in Hamburg beobachtete gezeigt.

Die vorgerückte Zeit gestattet mir nicht, noch auf einige andere für den Schiffsverkehr bedeutsame Krankheiten, Pocken, Fleckfieber, Malaria und gewisse parasitäre Krankheiten, besonders die Anchylostomenanaemie[1]), einzugehen.

Erlauben Sie mir, statt dessen einem der speciellen Schiffsgesundheitspflege gleichwerthigen Factor, der Hygiene der Hafenstädte und der Häfen, noch wenige Worte zu widmen.

Man muss sich klar vor Augen halten, dass dnrch den Verkehr mit allen möglichen Gegenden des Erdballs die Hafenstädte dauernd weit stärker und mannigfacher gefährdet sind wie das Binnenland.

Sie haben den ersten Anprall der über's Meer eingeschleppten Seuchen auszuhalten und werden um so widerstandsfähiger sein, je besser sie nach allen Richtungen gesundheitlich organisirt sind. Die Seestädte sind sich aber auch wohl bewusst, dass sie damit nicht allein dem eigenen localen Interesse, sondern weit darüber hinaus der Allgemeinheit dienen, dass möglichste Vollkommenheit ihrer Einrichtungen viel Unheil von ganzen Ländern fern halten kann.

Unsere Sorge darf sich aber nicht auf die heimischen Häfen beschränken. Ebenso wichtig und unendlich schwieriger für uns ist die gesundheitliche Beobachtung der fremdländischen Häfen, mit denen uns unser Seeverkehr verbindet. Hier gilt es, die Infection unserer Seeleute und die Durchseuchung unserer Schiffe zu verhindern.

Für die zahllosen, eigenartigen Forderungen, die in allen diesen Beziehungen an die Wissenschaft und die Kunst des Arztes gestellt werden, reichen die den Verhältnissen des Binnenlandes Rechnung tragenden Disciplinen nicht aus. Hygiene und Klinik müssen hier ihre Gebiete specialistisch erweitern und ausbauen. Hafen-, Schiffs- und

1) In neuester Zeit haben Gerhardt und seine Schüler Zinn und Jacobi interessante Mittheilungen über die ungemeine Häufigkeit der Anchylostomen bei Schwarzen gemacht. Vergl. Gerhardt in der Discussion über Schön's Vortrag „Ueber Tropenhygiene". Verhandl. der deutsch. Kolon.-Gesellsch. Abth. Berlin-Charlottenburg 1896/97, Heft I.

Tropenmedicin müssen sich zu einem besonderen Zweig der ärztlichen Thätigkeit fortbilden, der genaues Studium von Schiff, Land und Leuten voraussetzt und Aetiologie und Prophylaxe mit klinischer Beobachtung innigst verbindet.

Die eigenartige neue Disciplin erfordert eine besondere, die allgemeine ärztliche Durchbildung ergänzende Schulung mit ihnen speciell gewidmeten Instituten.

Der Sitz dieser Institute sind naturgemäss die grossen Hafenstädte und für Länder mit ausgedehntem Kolonialbesitz pathologisch und für den Schiffsverkehr wichtige überseeische Orte.

Sie allein verbürgen die erspriessliche Verknüpfung von Wissenschaft und Praxis. Hier hat der auszubildende junge Arzt den Hafen und das Schiff beständig vor sich mit den zahllosen Fragen und Aufgaben, die sie der Medicin stellen. Hier kann er direct die damit zusammenhängenden Krankheiten studiren, und hier allein sieht er in grosser Zahl diejenigen der fremden Länder, die der Seeverkehr zu uns bringt.

Die Zahl der bisher errichteten Institute ist noch verhältnissmässig gering, und ihre Einrichtung entspricht durchaus nicht immer den nothwendigen Forderungen des Unterrichts.

So hat z. B. Frankreich in seiner Schule in Algier[1]) bisher nur theoretische zweijährige Curse, ohne Gelegenheit zur Unterweisung am Krankenbett. Selbst Holland scheint sein mit einem grossen Hospital verbundenes Institut in Weltevreden bei Batavia[2]) noch nicht in genügender Weise auszunutzen, und Proben seines Werthes für Unterricht und Praxis wird die kürzlich eröffnete Schule für Tropenmedicin in London[3]) noch zu geben haben.

Zweifellos am besten entspricht zur Zeit den zu stellenden Anforderungen in Bezug auf Einrichtungen und Leistungen das in

1) Brault, L'enseignement de la patholog. colon. à l'école de méd. d'Alger. Arch. f. Schiffs- und Tropenhyg. Virch. Jahresber. Bd. V f. 1900 (Kap. Med. Geograph.)
Frankreich hat noch ausserdem in Saigon in Cochinchina ein Tropeninstitut mit Schutzpockenanstalt, aber, wie es scheint, ohne Einrichtung für Lehrzwecke.

2) Mit dem Institut ist ein Laboratorium für Anatomie und Bakteriologie verbunden, ebenso Einrichtungen für Gewinnung von Kuhlymphe und dem Pasteur-schen Tollwuthmittel. Im Jahre 1894 hatte das Institut 75 Schüler, aber nur Eingeborene, wie es scheint, nicht voll ausgebildete Aerzte. (cf. Schön l. c.)

3) Die London School of tropical Medic. wurde am 11. Mai 1899 eröffnet.
In Brit. Indien sind den Provinzial- und bedeutenden Communalverbänden ärztl. Sachverständigencollegien, zum Theil mit Versuchsanstalten, beigeordnet. Eine Station mit Lehreinrichtungen für Aerzte befindet sich in Agra unter Leitung des Dr. Hankin.

Hamburg[1]) seit über Jahresfrist eröffnete Institut für Schiffs- und Tropenpathologie.

Es ist, was vorher schon für principiell wichtig erklärt wurde, materiell und äusserlich dem Wirkungskreis der Hafensanitätsbehörde angegliedert und hat das Glück, in deren ärztlichem Leiter zugleich einen der besten Kenner und Forscher auf dem Gebiete der Schiffs- und Tropenpathologie gewonnen zu haben.

Der wichtigste Theil des Instituts ist ein für Krankheiten der Seeleute, speciell Tropenkrankheiten eingerichtetes ein reiches Beobachtungsmaterial bietendes Krankenhaus.

Mit ihm sind Laboratorien für mikroskopisch-bakteriologische und experimentelle Arbeiten verbunden.

Das neue Haus ist mit derjenigen Zweckmässigkeit und Gediegenheit ausgestattet, die alle hiesigen sanitären Institute dem freien weiten Blick ihrer Behörden verdanken.

Hamburg hat sich auch damit wieder in die erste Reihe gestellt. wo es gilt, im friedlichen Wettbewerb der Völker neue wissenschaftlich und praktisch aussichtsvolle Gebiete zu erobern.

Möge des neue Institut reichen Segen stiften durch immer innigere Verknüpfung und gegenseitige Förderung von Medicin und Seeverkehr!

1) NOCHT, Die Umgestaltung des Hamburger Seemannskrankenhauses zu einem Institut für Schiffs- und Tropenhygiene. Deutsche med. Wochenschr. 1900, S. 203.

IV.

Ueber die Bedeutung elektrischer Methoden und Theorien für die Chemie.

Von

W. Nernst.

In der naturwissenschaftlichen Erkenntniss wie auch in den technischen Anwendungen der Naturkräfte standen im vergangenen Jahrhundert die elektrischen Erscheinungen an erster Stelle; das wunderbare Verhalten der elektrischen Wechselwirkung fesselte den Physiker nicht minder, wie die elektrischen Kräfte der vorwärtsstrebenden Technik immer neue und immer wieder überraschende Hülfsmittel zur Verfügung lieferten.

Insbesondere gilt das auch für Chemie und chemische Technologie; im ganzen verflossenen Jahrhundert, von der Identificirung der Volta-schen Spannungsreihe der Metalle mit ihrer chemischen Verwandtschaft zum Sauerstoff durch Ritter bis zur modernen Auffassung der Ionenreactionen lässt sich der befruchtende Einfluss der Elektricitätslehre auf die chemische Forschung verfolgen, und ebenso haben in neuerer Zeit theils zahlreiche ältere rein chemische Methoden der Technik elektrochemischen weichen müssen, theils sind fast unzugängliche Substanzen durch den galvanischen Strom im Grossen darstellbar geworden. Wenn freilich auch der Siegeslauf der angewandten Elektrochemie bis jetzt nicht derartig rasch und glänzend verlief, wie die Chemiker und vielleicht noch mehr die Elektrotechniker vor einem Decennium es erhofften, so bleibt die Thatsache doch bestehen, dass dies jüngste Kind der Industrie in gesunder Entwicklung sich befindet.

Durch diese einleitenden Bemerkungen möchte ich den Versuch rechtfertigen, an dieser Stelle den Einfluss der Elektricitätslehre auf die chemische Forschung in ihren wichtigsten Zügen zu charakterisiren, um daran einige Ausblicke allgemeinerer Art zu knüpfen.

Ehe ich zum eigentlichen Thema komme, möchte ich auf eine kaum zulässige Deutung der neueren Entwicklung der Elektricitätslehre aufmerksam machen, die ziemlich verbreitet ist und das Verständniss des

Folgenden sehr erschweren oder geradezu unmöglich machen würde. Es ist wohl allgemein bekannt, dass die Physik der neuesten Zeit sich sehr eingehend mit den elektrischen Schwingungen beschäftigt hat; theoretische Forschung und experimentelles Geschick haben hier ein ungemein reizvolles und ergiebiges Gebiet der Bethätigung gefunden, worüber ja Herr Lecher, einer der berufensten Mitarbeiter auf diesem Gebiet, am letzten Montag von dieser Stelle aus berichtet hat. Offenbar unter dem Einfluss dieser Arbeiten hat der Glaube Platz gegriffen, dass die sogenannte Fluidumstheorie der Elektricität, die in ihr ein körperliches Agens erblickt, beseitigt sei, und man findet sogar häufig die ganz unmotivirte Behauptung, die Elektricität sei ein Schwingungszustand. Allerdings hat die elektromagnetische Lichttheorie einen in jeder Hinsicht bündigen Beweis dafür geliefert, dass die Erscheinungen des Lichts, die man ja bekanntlich seit Langem auf Wellenbewegungen zurückführt, ihrem Wesen nach elektrische Phänomene sind, oder dass mit anderen Worten ein principieller Unterschied zwischen den Lichtschwingungen und den elektrischen Schwingungen nicht besteht. Damit ist nun in der That die Optik geradeso ein Specialkapitel der Elektricitätslehre geworden, wie es der Magnetismus seit Langem war. Die Frage nach dem Wesen der Elektricität bleibt trotzdem aber im Grossen und Ganzen dieselbe, wie vorher.

Ein Beispiel mag die Sache uns verdeutlichen. Die Physik hat gelehrt, dass die Tonempfindungen sich auf Schwingungen der Luft zurückführen lassen, die Akustik wurde dadurch zu einem Specialgebiete der Hydrodynamik, speciell der Theorie der Schwingungen gasförmiger Substanzen. Wenn Jemand, gestützt auf die Erfolge der Akustik, etwa sagen wollte, die Luft wäre ein Schwingungszustand, so würde man sofort das Unbegründete dieser Behauptung erkennen; und doch hat man in neuester Zeit der Elektricität gegenüber genau den entsprechenden Fehlschluss bisweilen begangen. Ueber das Wesen der Luft selber haben uns bekanntlich hauptsächlich Forschungen rein chemischer Natur Aufschluss gegeben, der Ausbau der Akustik hat dazu nicht eben sonderlich mitgeholfen. Und um gleich das wichtigste Resultat, das ich heute darlegen möchte, hier vorweg zu nehmen, so geht meines Erachtens die eben dargelegte Analogie so weit, dass allem Anschein nach über das Wesen der Elektricität uns Forschungen Auskunft zu geben versprechen, die mit den von der Chemie benutzten Methoden die allergrösste Aehnlichkeit besitzen.

Wenn in der anschaulichen Sprache der Atomistik die Chemie als Wissenschaft von der Bildung der Molecüle überhaupt aus den Atomen und von ihrem Zerfall in die Atome bezeichnet werden kann, so beschäftigt sich die Elektrochemie mit dem Werden und Vergehen elektrisch geladener Molecüle, die man nach Faraday kurzweg als

Ionen bezeichnet. Da nun in zahlreichen chemischen Reactionen die Ionen eine bereits klar erkannte Rolle spielen, und da in vielen anderen ihre Mitwirkung, wenn auch noch nicht sicher, so doch wahrscheinlich ist, so springt die Bedeutung der Elektricitätslehre auch für die reine Chemie, nicht nur für die Elektrochemie, in die Augen; alle elektrischen experimentellen Methoden und alle theoretischen Erwägungen aus der Elektricitätslehre, die auf die Ionen Anwendung finden, sind der Chemie bereits von Nutzen oder können es werden.

Nun ist es eine wichtige Erfahrungsthatsache, dass gerade das Wasser zahlreiche gelöste Stoffe in Ionen zu spalten vermag; dadurch ist dies Lösungsmittel für die Elektrochemie nicht nur, sondern für die Chemie überhaupt von der allergrössten Bedeutung. Es ist übrigens kaum daran zu zweifeln, dass auch die fundamentale Rolle des Wassers im thierischen und pflanzlichen Organismus auf verwandte Ursachen zurückzuführen ist. Wahrscheinlich hängt das eigenartige Verhalten des Wassers mit seiner hohen Dielektricitätsconstante zusammen, welche in der That diesem Lösungsmittel eine ganz besondere Stellung zuertheilt. Jedenfalls ist es von vorn herein klar, dass in den experimentellen Methoden der Elektrochemie die wässrigen Lösungen die vielseitigsten und bequemsten Versuchsobjecte sind.

Wenn wir also nunmehr dazu übergehen wollen, die wichtigsten elektrischen Methoden der Chemie kurz zu charakterisiren, so wissen wir bereits, dass es sich hierbei immer um Ionen handeln wird. Bei der Behandlung dieser Frage ergab sich nun das von vorn herein anschauliche Resultat, dass bei der Untersuchung der Ionen alle Methoden anwendbar sind, die über den Bau der gewöhnlichen elektrisch neutralen Molecüle uns zu unterrichten sich eignen; man kann Moleculargewichtsbestimmungen und Constitutionsbestimmungen an den Ionen genau so ausführen, wie an den gewöhnlichen Molecülen. Dazu aber treten als neu und eigenartig diejenigen Methoden hinzu, welche sich an die elektrische Ladung der Ionen wenden, und dieses sind eben die elektrischen Methoden der Chemie. Ich glaube, dass der vorstehende einfache Satz die vollständige Systematik der elektrochemischen Forschungsmethode enthält.

Wenn wir also z. B. ein Salz in wässriger Lösung untersuchen wollen, so werden wir zunächst durch Anwendung der van 't Hoff-Avogadro'schen Regel das Moleculargewicht bestimmen können; hierdurch allein werden wir in vielen Fällen, wie Arrhenius, der Begründer der modernen Anschauung über die elektrolytische Dissociation, zuerst gezeigt hat, über Menge und Art der Ionen, in welche das Salz zerfallen ist, Auskunft erhalten, besonders wenn wir damit das Heranziehen chemischer Analogien verbinden; in den meisten Fällen sind ja, wie Hittorf schon in seinen klassischen Arbeiten nachwies, die chemischen Radicale mit den Ionen identisch, und über die Natur dieser

Radicale giebt das allgemeine chemische Verhalten des Salzes in der Regel hinreichenden Aufschluss. Wie schon bemerkt, stehen uns aber auch specifisch elektrische Methoden zur Verfügung, und indem wir einerseits von der Thatsache Gebrauch machen, dass die Ionen unter dem Einfluss elektrischer Kräfte zu wandern vermögen, und dass andererseits die elektromotorische Kraft zwischen Metall und der Lösung durch Natur und Menge von Ionen bestimmt wird, gewinnen sowohl Messungen der elektrischen Leitfähigkeit wie solche der elektromotorischen Kraft ihre Bedeutung auch für die rein chemische Forschung.

Dank der Arbeiten von Friedrich Kohlrausch ist die Bestimmung der Leitfähigkeit von Lösungen zu einem hohen Grade von Einfachheit und Sicherheit gebracht worden. Ein kleines Inductorium, eine Wheatstone'sche Brücke, ein Widerstandskasten, ein Telephon und ein mit Elektroden versehenes Glasgefäss bilden das ganze physikalische Rüstzeug, dessen man zur Bestimmung der Leitfähigkeit bedarf. Einen umfassenden Ueberblick über die Anwendungen dieser Methode für die Chemie ist hier zu geben nicht der Ort; aber an einem Beispiele, das durch die Arbeiten von Ostwald hervorragende Wichtigkeit gewonnen hat, möchte ich wenigstens ihr Wesen veranschaulichen.

Dass in wässriger Lösung die verschiedenen Säuren sehr verschiedene Stärke besitzen, ist eine längst bekannte chemische Thatsache; ihre wissenschaftliche Formulirung gelang jedoch erst in neuerer Zeit mit Hülfe der Ionentheorie und der Lehre von der chemischen Massenwirkung. Alle Säuren liefern nämlich, in Wasser aufgelöst, eine mehr oder minder grosse Menge der positiv geladenen Wasserstoffionen; die allen Säuren gemeinschaftlichen und daher specifisch sauren Reactionen sind nun eben Reactionen des Wasserstoffions. Nach dem Gesetze der chemischen Massenwirkung aber reagirt eine Molecülgattung, gleichgültig ob elektrisch neutral oder geladen, um so energischer, je höher ihre Concentration ist, und somit ergiebt sich einfach, dass eine Säure um so stärker specifisch sauer reagirt, je mehr Wasserstoffionen sie enthält. Da man nun mit Hülfe der elektrischen Leitfähigkeit am einfachsten und genauesten die Menge der Wasserstoffionen einer in Wasser gelösten Säure ermitteln kann, so erkennen wir, wie die Messung der elektrischen Leitfähigkeit uns über die Stärke einer Säure und somit über eine wichtige Seite ihres chemischen Verhaltens Aufschluss giebt.

In complicirteren Fällen, besonders bei der Untersuchung der sogenannten complexen Salze, tritt der Leitfähigkeitsmessung die Untersuchung der Ionenwanderung ergänzend an die Seite; indem man die zu untersuchende Lösung elektrolysirt und die mit der Verschiebung der Ionen verbundenen Concentrationsänderungen an den Elektroden bestimmt, lässt sich die Frage entscheiden, ob ein Element oder Radical mit dem Strome oder dem Strome entgegen wandert; in ersterem Falle

befindet es sich in einem positiven, im zweiten Falle in einem negativen Ion. Bereits HITTORF zeigte bei seinen grundlegenden Messungen der Ueberführungszahlen, dass auf diesem Wege häufig die Frage leicht entschieden werden kann, ob man ein typisches oder ein sogenanntes complexes Salz vor sich hat.

Während die Leitfähigkeit einer Lösung durch die Summe der Leitfähigkeiten aller darin vorhandenen Ionen bedingt wird und somit, besonders in complicirten Fällen, in denen eine grössere Anzahl verschiedener Ionen in der Lösung vorhanden ist, die Deutung der Versuchsergebnisse nicht ganz einfach wird, liefert die Bestimmung der elektromotorischen Kraft die Menge von einer ganz bestimmten Ionenart, weil die Spannung der Elektroden ausser von ihrer eigenen Beschaffenheit in wässrigen Lösungen nur noch von der Concentration der Ionenart abhängt, welche die betreffende Elektrode in die Lösung entsendet. Der Apparat, der für die Ausführung dieser Messungen erforderlich ist, bietet in seiner Handhabung ebenfalls, wie bei der Messung der Leitfähigkeit, keine besonderen Schwierigkeiten; ein empfindliches Galvanometer oder Elektrometer, ein Normalelement und ein Widerstandskasten sind in den meisten Fällen zur Ausführung der Messung vollkommen ausreichend.

Bestimmen wir also etwa die elektromotorische Kraft eines Silberdrahtes gegen eine Lösung, so vermag diese Messung uns Aufschluss zu geben über die Menge der Silberionen, die in der Lösung vorhanden sind, und zwar liegt es in der Natur der Formel, welche die elektromotorische Kraft und die Concentration der Silberionen verbindet, dass die procentische Genauigkeit unabhängig von der Menge der in der Lösung vorhandenen Silberionen ist. Man ist daher in der Lage, Concentrationen von einer Kleinheit noch relativ sicher zu bestimmen, wie sie wohl auf keinem anderen Wege, z. B. auch nicht durch die Hülfsmittel der Spectralanalyse unter den günstigsten Bedingungen, gemessen werden können.

Auch hier muss ich mich darauf beschränken, an einem Beispiele die Anwendbarkeit dieser Methode zu erläutern. Das Wasser ist in reinem Zustand ein fast völliger Nichtleiter der Elektricität; es ist mit anderen Worten nur zu einem äusserst kleinen Bruchtheile in seine Ionen, das Wasserstoffion und das Hydroxylion, zerfallen. Da von diesen Ionenarten das eine für die Säuren, das andere für die Basen typisch ist, so ist das Wasser gleichzeitig saurer und basischer Natur, d. h. es ist gleichzeitig eine schwache Säure und eine schwache Basis. Für zahlreiche chemische Reactionen des Wassers war es nun von Wichtigkeit, die Stärke der sauren und der basischen Functionen des Wassers kennen zu lernen, und es mussten zu diesem Zwecke die sehr kleinen Mengen von Wasserstoffionen bestimmt werden, die in einer neutralen oder besser alkalischen Lösung vorhanden sind. OSTWALD und AR-

rhenius lösten gleichzeitig und unabhängig diese Aufgabe, indem sie die elektromotorische Kraft einer mit Wasserstoff beladenen Platinelektrode, die lediglich von der Concentration der Wasserstoffionen abhängt, bestimmten und daraus die gesuchte ausserordentlich kleine Concentration der Wasserstoffionen ermittelten. —

Die bisher besprochenen elektrischen Methoden sind gleichsam Sonden, die der Forscher an chemische Verbindungen anzulegen und mit Hülfe deren er sie so zu sagen abzutasten vermag. Die Elektricität giebt aber auch Mittel an die Hand, durch die man, wie mit einem scharfen Werkzeuge, die chemischen Verbindungen zerschneiden kann; dieses Hülfsmittel ist das erste, das die elektrochemische Forschung erbracht hat, nämlich die Elektrolyse. Vermöge der elektrolysirenden Kraft des galvanischen Stromes ist man ja im Stande, auch die festesten Verbindungen mit Leichtigkeit in ihre einfacheren Bestandtheile aufzulösen.

Der Mechanismus der Elektrolyse ist überaus einfach und durchsichtig; ein Strom, der einen Elektrolyten durchfliesst, führt die positiven Ionen zur einen, die negativen Ionen zur anderen Elektrode, und zwar findet diese Wanderung der Ionen, wie schon oben auseinandergesetzt, unter dem Einfluss des elektrischen Zuges statt, der von den entgegengesetzt geladenen Elektroden auf die Ionen ausgeübt wird. Bei hinreichend starker Ladung der Elektroden, d. h. bei hinreichender elektromotorischer Kraft des elektrolysirenden Stromes, gelangen die Ionen an beiden Elektroden zur Abscheidung; indem sie an die Elektroden ihre elektrische Ladung abgeben, gehen sie in gewöhnliche, d. h. elektrisch neutrale Molecüle über, welche dem elektrischen Zuge nicht mehr unterliegen und demgemäss entweichen können. Der eigentlich primäre Vorgang in der Elektrolyse ist also nichts Anderes, als der Uebergang elektrisch geladener Ionen in elektrisch neutrale Molecülarten, und die Arbeit, welche der Strom bei der Elektrolyse zu leisten hat, besteht also in erster Linie darin, den Ionen ihre elektrischen Ladungen zu entreissen, und zwar gleichzeitig den positiven Ionen ihre positive Elektricität an der einen, den negativen Ionen ihre negative Elektricität an der anderen Elektrode. Diese Arbeit ist nun aber um so grösser, je höher die an den Elektroden wirkende elektromotorische Kraft ist, und da wir letztere bei geeigneter Versuchsanordnung beliebig zu steigern im Stande sind, so erkennen wir, dass kein Ion seine Ladung so stark zu binden vermag, dass wir nicht durch hinreichend starken elektrischen Zug sie den Ionen zu entziehen im Stande wären. Mit Hülfe des Stroms können wir dementsprechend die stärksten chemischen Kräfte überwältigen.

Ich möchte versuchen, das eben Gesagte durch einige Beispiele zu erläutern. Die Ionen können complicirte chemische Radicale sein, aber häufig bestehen sie auch nur aus einem einzigen Element; wenn wir

einem solchen Ion die elektrische Ladung entreissen und gleichzeitig dafür Sorge tragen, dass das seiner Elektricität beraubte und daher in Freiheit gesetzte Element keine anderweitigen secundären Reactionen ausübt, so vermögen wir durch die Elektrolyse das betreffende Element aus der Verbindung, die wir elektrolysiren, in Freiheit zu setzen. So giebt der galvanische Strom dem Chemiker ein Mittel an die Hand, Elemente in freiem Zustande darzustellen, die auf anderem Wege nur äusserst schwierig oder gar nicht isolirt werden konnten. Beim Beginn des verflossenen Jahrhunderts schied bekanntlich Davy die Alkalimetalle aus ihren geschmolzenen Hydroxyden durch den Strom ab; aus wässriger Lösung wäre dies nicht möglich gewesen, weil Wasser ja die abgeschiedenen Metalle sofort angreifen würde; wir sehen also, dass zur erfolgreichen Isolirung der Alkalimetalle ausser einem hinreichend starken Strom auch noch ein wasserfreier Elektrolyt erforderlich war. Vor 15 Jahren gelang es schliesslich Moissan, das Fluor, dessen Reindarstellung bis dahin ein ungelöstes Problem war, ebenfalls auf elektrolytischem Wege in Freiheit zu setzen, und es ist nicht ohne Interesse zu constatiren, dass er hierzu eigentlich im Princip genau den gleichen Kunstgriff verwandte, wie Davy. Denn gerade wie die starken positiven Metalle auf das Wasser unter Entwicklung von Wasserstoff einwirken, so zersetzt das stark elektronegative Fluor stürmisch das Wasser unter Sauerstoffentwicklung; die elektrolytische Darstellung des Fluors ging dementsprechend verhältnissmässig glatt vor sich, als Moissan in Gestalt von durch Fluorkalium leitend gemachter reiner Flusssäure einen wasserfreien Elektrolyten benutzte. Elektrolysiren wir ein in Wasser gelöstes Fluorid, so bekommen wir anstatt Fluor an der Anode Sauerstoff, der durch secundäre Einwirkung des Fluors auf das Wasser gebildet wird. Dass die Elektrolyse sich thatsächlich so abspielt, wird übrigens auch dadurch wahrscheinlich gemacht, dass entsprechend dem Befund Moissan's, wonach der von Fluor aus Wasser in Freiheit gesetzte Sauerstoff stark ozonhaltig ist, auch der aus einem Fluorid elektrolytisch entwickelte Sauerstoff relativ grosse Mengen jener Sauerstoffmodification enthält. Bekanntlich gelang es später, die von Davy zuerst elektrochemisch isolirten Alkalimetalle auch rein chemisch darzustellen; ebenso dürfte dieses mit dem Fluor sich ermöglichen lassen, seitdem man weiss, dass dazu lediglich ein hinreichend starkes chemisches Oxydationsmittel unter Ausschluss von Wasser erforderlich ist.

Während bei der Elektrolyse der galvanische Strom chemische Verwandtschaften löst, wird bei dem umgekehrten Phänomen, der galvanischen Stromerzeugung, chemische Energie in elektrische umgesetzt. Auch der Mechanismus dieser Vorgänge ist mit Hülfe der Ionentheorie und der Theorie des osmotischen Drucks in neuerer Zeit, wie ich glaube, klargestellt worden. Die Auflösung des Zinks z. B. in einem galvanischen Element ist im Princip ähnlich der Auflösung irgend einer

beliebigen Substanz in einem Lösungsmittel; das eigenthümliche, was bei der Auflösung des Zinks noch hinzukommt, besteht lediglich darin, dass hier, wie bei den Metallen überhaupt, nicht elektrisch neutrale Molecüle in Lösung gehen, sondern dass es sich dabei um Ionen handelt. Dadurch aber ist nothwendig mit der Auflösung des Zinks eine elektrische Verschiebung verbunden, die unter geeigneten Versuchsbedingungen als geschlossener galvanischer Strom in Erscheinung tritt.

Aber auch wenn man ohne besondere Vorkehrung Zink oder ein anderes Metall in Säuren löst, ist damit ein elektrischer Vorgang untrennbar verbunden; von dem Zink werden Zinkionen in die Säure entsandt, während gleichzeitig die chemisch und somit auch elektrisch äquivalente Menge von Wasserstoffionen umgekehrt aus der Lösung zum Zink übertritt, um nach Abgabe der Ladung als elektrisch neutraler Wasserstoff zu entweichen. Genau so, wie für die Elektrolyse die Spannungsdifferenz an den Elektroden maassgebend ist, wird auch dieser chemische Process, wie in zahlreichen neueren Arbeiten gezeigt wurde, ausschliesslich durch die elektrische Potentialdifferenz zwischen Metall und Lösung bestimmt.

Der primäre Vorgang bei der Auflösung eines Metalls unter Wasserstoffentwicklung besteht also in der Abgabe der positiven Ladung des Wasserstoffions an das betreffende Metall. Leiten wir etwa Chlor in die Lösung eines Jodids, so wird gewöhnliches Jod in Freiheit gesetzt, und das Chlorion tritt an die Stelle des Jodions; auch hier besteht der chemische Process also wesentlich in einer Dislocation einer elektrischen Ladung, und zwar handelt es sich bei diesem Beispiel um eine negative Ladung. Nach aussen verräth sich, wie es in der Natur dieser Erscheinungen liegt, die elektrische Natur dieser Processe nicht weiter; elektrostatische Ladungen oder galvanische Ströme treten dabei nicht auf. Wohl aber lässt sich die Richtung, in der solche chemische Umsetzungen stattfinden müssen, aus den Ionenpotentialen ableiten.

Schon daraus, dass das Phänomen der Elektrolyse in der Spaltung selbst der festesten chemischen Verbindungen besteht, wird es klar, dass bei chemischen Verbindungen elektrische Kräfte eine wichtige Rolle spielen; im Einzelnen haben wir überdies soeben gesehen, dass bei manchen Processen der primäre Vorgang in einer Dislocation elektrischer Ladungen besteht. Damit tritt denn zugleich die Frage an uns heran, ob nicht etwa die chemischen Kräfte überhaupt elektrischer Natur sind.

Ehe wir darüber Betrachtungen anstellen, in wie weit die Forschung in das äusserst hypothetische Gebiet der Natur der chemischen Affinität zur Zeit vorgedrungen ist, möchte ich kurz noch darauf eingehen, wie die chemische Affinität gemessen werden kann. Wenn zwei Substanzen bei ihrer Berührung in rasche chemische Wechselwirkung zu treten

vermögen, so sagt man in der Regel, dass sie eine grosse chemische Affinität besitzen; dies ist einwandsfrei, aber keineswegs die Umkehrung dieses Satzes, dass nämlich Substanzen, die sich auch bei innigster Berührung gegen einander indifferent verhalten, keine Affinität besitzen. Der Verlauf eines chemischen Processes ist zwar proportional der wirkenden chemischen Kraft, aber er hängt ausserdem auch noch von der Grösse der Widerstände ab, die im betreffenden Falle zu überwinden sind. Auch bei sehr grosser chemischer Affinität kann die Reactionsgeschwindigkeit verschwindend klein sein, wofür eine Gemenge von Wasserstoff und Sauerstoff ein Beispiel bildet; trotz der grossen Affinität dieser Elemente bleiben sie bei gewöhnlicher Temperatur so gut wie vollkommen passiv, weil der zu überwindende chemische Widerstand sehr gross ist. Genau wie die Intensität eines galvanischen Stromes der wirkenden elektromotorischen Kraft direct und dem entgegenstehenden elektrischen Widerstande indirect proportional ist, so gilt für die rein chemischen Processe ein analoges Gesetz: die Reactionsgeschwindigkeit ist der chemischen Kraft oder der chemischen Affinität direct und dem chemischen Widerstand indirect proportional. In einem galvanischen Element werden beide Gesetze, das Ohm'sche Grundgesetz der elektrischen Ströme und das chemische Grundgesetz des Reactionsverlaufs, identisch, weil hier galvanischer und chemischer Widerstand zusammenfallen, die Reactionsgeschwindigkeit nach Faraday's Gesetz der Stromintensität gleich wird und die Kraft der chemischen Affinität des stromliefernden Processes in dem betrachteten galvanischen Element einfach seine elektromotorische Kraft ist. Ebenso aber, wie das Ohm'sche Gesetz auch auf elektrische Ketten Anwendung findet, in denen keinerlei chemische Processe sich abspielen, wie bei den Dynamomaschinen oder den Thermosäulen, so gilt das analoge chemische Grundgesetz auch bei Reactionen, in denen, wie z. B. bei Verbrennungserscheinungen, das Auftreten galvanischer Ströme nicht nachgewiesen und, wenn es sich lediglich um die Einwirkung zwischen elektrischen Isolatoren handelt, geradezu ausgeschlossen ist. Immerhin weist die grosse Aehnlichkeit der beiden besprochenen Gesetze bereits auf eine Beziehung zwischen chemischem Process und galvanischem Strom oder besser galvanischer Entladung hin.

Aus den vorstehenden Ueberlegungen ersehen wir bereits, dass die Bestimmung der elektromotorischen Kraft eines galvanischen Elements uns gleichzeitig die Grösse der Affinität des betreffenden stromliefernden chemischen Processes liefert. Man kann letztere Grösse aber auch auf zahlreichen anderen Wegen ermitteln; wie nebenbei bemerkt sei, liefert jede Methode, die zur Kenntniss der maximalen Arbeitsleistung einer chemischen Umsetzung oder, wie man es auch ausdrückt, zur Bestimmung der damit verbundenen Aenderung der freien Energie führt, gleichzeitig die chemische Affinität der betreffenden stofflichen Um-

setzung. Die Messung der elektromotorischen Kraft ist aber die vielseitigste und genaueste Methode, und wir sehen also, wie auch hier wieder, wo es sich um die Messung einer der wichtigsten chemischen Grössen handelt, eine rein elektrische Methode an der Spitze steht.

Man hat wohl bisweilen geglaubt, dass man sich um die Natur der chemischen Kräfte nicht weiter zu kümmern brauche, wenn man nur wüsste, welche Arbeit sie zu leisten im Stande sind; der naturwissenschaftlichen Methodik würde ein solcher Standpunkt meines Erachtens aber wenig entsprechen. Wenn Jemand eine Maschine, die ihn lebhaft interessirt, in Thätigkeit sieht, so wird er sich von der blossen Mittheilung, dass die Maschine so und so viele Pferdekräfte entwickeln kann, kaum befriedigt fühlen; er wird vielmehr auch über den Mechanismus und die gesammte Wirkungsweise der Maschine sich zu informiren wünschen, und es wird doch gewiss in jedem Falle der Nachfrage werth sein, ob es sich um ein Mühlrad, eine Wärmemaschine, einen Elektromotor oder dergl. handelt. Genau so ist es gewiss für uns allerdings von hohem Werthe, die Arbeitsfähigkeit und damit die chemische Affinität einer Reaction zu erfahren; die Forschung darf sich aber damit nicht begnügen, sondern muss über die Wirkungsweise und die Natur der jeweiligen treibenden Kräfte Aufschluss zu gewinnen trachten, und sei das Gebiet auch noch so hypothetisch und seien wir von einer befriedigenden Antwort auch noch so weit entfernt.

Historisch wäre über die Frage nach der Natur der chemischen Verwandtschaft etwa Folgendes zu bemerken. Bei der Beschäftigung mit der anorganischen Chemie zeigte sich in der Zusammensetzung zahlreicher chemischer Verbindungen ein deutlicher Dualismus; man konnte die Elemente und Radicale in zwei Kategorien theilen, die positiven und die negativen, und man fand, dass die positiven wie die negativen Radicale je unter einander meistens relativ schwierig reagiren, dass aber ein stark positives mit einem stark negativen Radical sich stets glatt zu einer wohlcharakterisirten chemischen Verbindung vereinigt. Die Erkenntniss dieser Thatsache ist der bleibende Inhalt der elektro-chemischen Theorie von Berzelius; dass der grosse Begründer der analytischen Chemie dies Verhalten der Elemente dadurch zu erklären suchte, dass er die eine Kategorie als in freiem Zustand positiv, die andere als negativ geladen ansah, eine Annahme, die gegen die Elemente der Elektricitätslehre verstösst, ist im Grunde eine unwesentliche Zugabe zu seiner Theorie. Thatsächlich war es Berzelius auch wohl mehr darum zu thun, den von ihm so oft beobachteten Dualismus in den chemischen Verbindungen durch die Analogie mit den beiden Elektricitäten anschaulich zu machen, als eine streng physikalische Erklärung der Wirksamkeit chemischer Kräfte zu liefern.

Nun entdeckte die aufblühende organische Chemie zahllose chemische Verbindungen, bei denen die einseitig dualistische Auffassungs-

weise vollkommen versagte, und so entstand die, wie man sich kurz ausdrückt, unitarische Theorie der Constitution organischer Verbindungen, d. h. eine Valenztheorie, die sich um jenen Dualismus nicht kümmert.

Gegenwärtig kann man wohl sagen, dass eine rein unitarische Auffassungsweise der chemischen Verbindungen ebenso einseitig wäre, wie die rein dualistische Auffassungsweise von Berzelius; wir müssen eben annehmen, dass bei der Bildung chemischer Verbindungen sowohl einheitlich wirkende Kräfte zur Geltung kommen, wie es z. B. die von Masse zu Masse wirkenden Newton'schen Attractionskräfte sind, als auch Kräfte polarer Natur thätig sind, wofür die elektrischen Kräfte das deutlichste Beispiel liefern.

Der von Berzelius erkannte Dualismus der chemischen Verbindungen lässt sich vom Standpunkte der Ionentheorie sehr einfach folgendermaassen deuten. Diejenigen Elemente oder Radicale, welche aus chemischen Verbindungen als positive Ionen abgespalten werden, bilden die eine Kategorie, diejenigen, welche als negative Ionen auftreten, bilden die andere Kategorie der Elemente und Radicale. Es sind also nicht die freien Elemente oder Radicale elektrisch geladen, wie Berzelius annahm, sondern nach der Vereinigung von positiven und negativen Radicalen unter einander vermag das Molecül unter geeigneten Bedingungen sich in Ionen zu spalten, wobei dann die positiven Radicale positiv, die negativen Radicale negativ elektrisch geladen sind. Diese elektrische Spaltung offenbart sich am deutlichsten durch elektrolytische Leitfähigkeit und die damit verbundene Fähigkeit, unter dem Einfluss eines hinreichend starken elektrischen Zuges sich in die freien Radicale spalten zu lassen, gleichzeitig aber auch, worauf Hittorf zuerst hinwies, in dem leichten chemischen Austausch eines positiven gegen ein anderes positives und eines negativen gegen ein anderes negative Radical, oder, mit anderen Worten, in der glatten Bildung und gegenseitigen Umsetzung von Salzen; Hittorf drückte dies sehr prägnant durch den einfachen Satz aus: „Elektrolyte sind Salze.“

Berzelius nahm, wie schon bemerkt, ferner an, dass der Grad der Positivität oder Negativität, wenn ich mich kurz so ausdrücken darf, durch die Stärke der elektrischen Ladung bestimmt sei; seit Faraday weiss man im Gegentheil, dass die elektrische Ladung, die ein einwerthiges Ion oder Radical mit sich führt, ganz unabhängig von der Natur und demgemäss auch von der Stärke dieses Radicals ist. Das äusserst stark positive Kalumion ist genau so stark elektrisch geladen, wie das sehr schwach positive Silberion, und das Gleiche gilt auch für das äusserst stark negative Fluorion und das sehr schwach negative Jodion. Nicht in der Grösse der Ladung zeigt sich der Grad der Positivität oder Negativität, sondern in der Festigkeit, mit der diese Ladung gebunden wird. Dementsprechend kann, um bei den obigen Beispielen zu bleiben, Jodsilber bereits durch sehr geringe elektromotorische Kräfte

in die freien Elemente gespalten werden, während Fluorkalium umgekehrt nur unter dem Einfluss eines starken elektrischen Zuges in die Bestandtheile zerfallen kann.

Der experimentelle Ausdruck der Thatsache, dass die verschiedensten einwerthigen positiven oder negativen Radicale gleich stark elektrisch geladen sind, ist das FARADAY'sche elektrolytische Grundgesetz, wonach die gleiche Strommenge aus den verschiedensten Elektrolyten immer chemisch äquivalente Mengen in Freiheit setzt. Da nach Allem, was wir darüber wissen, das erwähnte Gesetz mit grösster Exactheit zutrifft, so kann die Thatsache, dass die verschiedenartigsten einwerthigen Ionen die gleiche Elektricitätsmenge binden, als sicher verbürgt gelten.

Was die mehrwerthigen Ionen anlangt, so findet man, dass die zweiwerthigen Elemente oder Radicale genau doppelt so viel, die dreiwerthigen genau dreimal so viel Elektricität binden, als die einwerthigen u. s. w.

Diese höcht merkwürdigen Thatsachen lassen sich nun ungemein einfach und anschaulich deuten, wie schon HELMHOLTZ in seiner Faraday-Rede (1881) angedeutet hat. Wenn wir an der stofflichen Natur der Elektricität festhalten, wozu man, wie HELMHOLTZ ebenda betonte, vollkommen berechtigt ist — und ich glaube nicht, dass sich seitdem hieran etwas geändert hat —, so sind die Ionen eine Art von chemischer Verbindung zwischen Elementen und Radicalen einerseits und der Elektricität andererseits. Wenn nun ferner, wie wir schon sahen, die verschiedensten Elemente oder Radicale immer sich nur mit einer ganz bestimmten Quantität freier Elektricität oder einem Multiplum davon verbinden, so kann man das am einfachsten durch den Satz ausdrücken: für die Verbindungen zwischen gewöhnlicher Materie und der Elektricität gilt genau das gleiche chemische Grundgesetz, wie für die Verbindungen der gewöhnlichen chemischen Substanzen unter einander, nämlich der constanten und multiplen Proportionen.

Erinnern wir uns, dass vor etwa einem Jahrhundert die Entdeckung jenes chemischen Grundgesetzes Anlass zur Einführung der Atomistik in die exacte Naturwissenschaft gab, und dass bis auf den heutigen Tag dieses Gesetz die sicherste experimentelle Unterlage jeder moleculartheoretischen Betrachtung geblieben ist. Ohne die atomistische Naturauffassung ständen wir diesem fundamentalen Naturgesetz völlig rathlos gegenüber, während es uns vom Standpunkte der Atomistik aus geradezu selbstverständlich erscheint.

Genau so liegt die Sache offenbar, wenn es sich um die Auffassung des obigen elektrochemischen Grundgesetzes handelt; denken wir uns die elektrischen Fluida als continuirlich, so bleibt es völlig unerklärlich, warum die verschiedensten Elemente und Radicale immer gerade eine ganz bestimmte Elektricitätsmenge bilden oder gerade ein Multiplum davon. Sofort aber wird es zur nothwedigen Consequenz, wenn

wir die Elektricität als in einzelne Atome von unveränderlicher Grösse uns getheilt denken.

Hierdurch gelangen wir also so zu sagen zu einer chemischen Theorie der Elektricität, die wir zum Schluss noch kurz betrachten wollen. Ausser den bekannten chemischen Elementen hätten wir zwei neue anzunehmen, gebildet von den positiven und negativen Elektronen, wie man diese elektrischen Atome bezeichnet; diese Elemente sind chemisch einwerthig, d. h. die Valenz eines einwerthigen Elementes kann durch ein, die eines zweiwerthigen Elementes durch zwei Elektronen gesättigt werden u. s. w. Das Atomgewicht dieser Elektronen kann für die Zwecke der Chemie verschwindend klein angesehen werden. Forschungen auf ganz anderen Gebieten, die in erster Linie das Studium der Kathodenstrahlen betrafen, und worüber Herr Dr. Kaufmann, ein sehr erfolgreicher Bearbeiter dieses Gebietes, am letzten Mittwoch von dieser Stelle aus berichtet hat, haben es übrigens wahrscheinlich gemacht, dass das Atomgewicht der negativen Elektronen etwa $^1/_{2000}$ des Atomgewichtes des Wasserstoffs ist. Freilich ist die Frage noch offen, ob es sich hier um eine wirkliche Masse im gewöhnlichen Sinne handelt. Jedenfalls aber ist diese Grösse in der That bei chemischen Arbeiten verschwindend, insofern als etwaige durch die negativen Elektronen bedingte Gewichtsveränderungen innerhalb der unvermeidlichen Fehler auch der genauesten bisherigen chemischen Analysen liegen. Ob die positiven Elektronen, wie nicht unwahrscheinlich, das gleiche Atomgewicht haben, wissen wir nicht, weil man an diesen die den Kathodenstrahlen entsprechende Erscheinung noch nicht aufgefunden hat. Die Eigenthümlichkeiten, welche diesen beiden Elementen zwischen allen anderen eine ganz entschiedene Ausnahmestelle verleiht, sind die von ihnen ausgehenden eigenartigen Kraftwirkungen, die von der Newton-schen Attraction der gewöhnlichen Elemente und Verbindungen so vollkommen verschieden sind. Die Behandlung dieser Kräfte bildet eben den physikalischen Theil der Elektricitätslehre', die seit Coulomb und Ampère mit der Erforschung der Gesetze jener Kräfte sich beschäftigt hat. Dasjenige, was für die Chemie in Betracht kommt, nämlich die elektrolytische Leitung, die elektrolytische Zersetzung und die galvanische Stromerzeugung, habe ich bereits im ersten Theile meines Vortrages besprochen, und wir haben dabei constatirt, dass sich diese Erscheinungen in der That aus den elektrischen Grundgesetzen heraus anschaulich deuten lassen.

Wenn man fragt, warum denn diese beiden Elemente von polar entgegengesetztem Charakter eine solche Ausnahmestellung im Vergleich zu allen übrigen einnehmen, so kann man diese Frage allerdings mit gleichem Recht aufwerfen, aber ebensowenig beantworten, wie die: Warum ist das Chlor gerade das Chlor, warum hat das Natrium gerade die Eigenschaften des Natriums u. s. w. Die Eigenschaften der Ele-

mente können wir zur Zeit eben nicht ableiten, wir müssen sie einfach nehmen, wie sie sind. — Uebrigens erinnert das gegenseitige Verhältniss der positiven und negativen Elektronen ein wenig, aber auch nur ein wenig, an das Verhältniss zwischen zwei optischen Isomeren.

Die Ionen sind, wie schon bemerkt, als chemische Verbindungen zwischen gewöhnlichen Atomen und Radicalen und den Elektronen aufzufassen, und zwar sind es gesättigte chemische Verbindungen. Wenn wir nämlich etwa im Chlornatrium das Natriumatom durch ein negatives Elektron substituiren, so bekommen wir das negative Chlorion, wenn wir das Chloratom durch das positiv geladene Elektron ersetzen, so bekommen wir das positive Natriumion. Man sieht also, dass die Ionen sich vollständig in das Schema der Substitutionstheorie einordnen, sobald wir die atomistische Auffassung der Elektricität zu Hülfe nehmen. Gleichzeitig wird auch der gewaltige Unterschied zwischen freiem Chlor und dem Chlorion, zwischen freiem Natrium und dem Natriumion offenbar; denn genau so, wie das physikalische Verhalten des freien Chlors und des freien Natriums ganz anders ist, als wenn diese Elemente in einer chemischen Verbindung, wie etwa Chlornatrium, vorhanden sind, so wird ihr Verhalten durchgreifend durch die Verbindung mit den elektrischen Elementaratomen, d. h. durch den Uebergang in den Ionenzustand, geändert.

Dass sich übrigens die Ionen in der That wie gesättigte Verbindungen verhalten, geht unter Anderem auch aus folgender Thatsache hervor. Ausser den chemischen Verbindungen, die sich dem Schema der Valenztheorie unterordnen, giebt es auch sogenannte Molecülverbindungen; um hierfür ein Beispiel zu nennen, so vermag das Platinchlorid sechs Ammoniakmolecüle zu addiren. Es ist nun sehr bemerkenswerth, dass die Ammoniakmolecüle durch Ionen ersetzbar sind, wie die Forschungen von WERNER gezeigt haben, und dass also auch die Ionen in der Art und Weise, Molecülverbindungen zu bilden, sich vollkommen den gewöhnlichen Verbindungen an die Seite stellen.

Es liegt nun die Frage nahe, ob sich die Substitution im Chlornatrium nicht noch einen Schritt weiter führen, d. h. ob sich nicht gleichzeitig das Natriumatom und das Chloratom durch ein negatives und ein positives Elektron substituiren lässt; das Resultat dieser Substitution wäre also eine Verbindung aus einem positiven und einem negativen Elektron. Wir hätten so ein elektrisch neutrales, masseloses oder wenigstens so gut wie masseloses Molecül. Ueber diese Verbindung und über die Rolle, die sie vielleicht in chemischen und elektrochemischen Processen spielt, wissen wir noch nichts Bestimmtes. Sollten diese Verbindungen wirklich existiren, und sollte es uns gelingen, ein Reagens darauf zu finden, um mich der chemischen Ausdrucksweise zu bedienen, so würde sich uns vielleicht eine neue Welt von Erscheinungen erschliessen; die Vermuthung scheint mir jetzt schon unabweisbar, dass

im Verhalten des Lichtäthers, jenes bis heute noch völlig hypothetischen Agens, diese Molecülgattung eine Rolle spielt.

Auf Grund dieser Anschauung können wir uns nun leicht ein klares Bild über das Verhältniss von dualistischer zu unitarischer Anschauungsweise verschaffen. Die verschiedenen Elemente (bez. Radicale) besitzen zu den positiven und negativen Elektronen verschiedene chemische Affinität; diejenigen Elemente, die zum positiven Elektron eine ausgesprochene Verwandtschaft zeigen, bilden die positive Gruppe von Elementen; entsprechend besitzen die negativen Elemente eine Verwandtschaft zum negativen Elektron. Ausserdem besitzen die verschiedenen Elemente unter einander eine chemische Affinität, die nicht polaren Charakters ist. Dementsprechend können, ohne dass die Elektronen eine Rolle spielen, zwei Atome eines Elementes eine feste chemische Verbindung eingehen; ich erinnere nur an die Festigkeit, mit der sich zwei Wassersfoffatome oder zwei Stickstoffatome unter einander zu einem Molecül vereinigen. Dasselbe gilt von vielen Verbindungen der Metalloide unter einander, wie Chlorjod, Schwefelphosphor u. s. w. Ebenso vermögen die Metalle unter einander zahlreiche Verbindungen einzugehen, bei denen wir ebenfalls gar keinen Anlass haben, auf eine Betheiligung von Elektronen zu schliessen. Der Kohlenstoff insbesondere, der einen Uebergang zwischen den ausgesprochen positiven und den ausgesprochen negativen Elementen bildet, vermag mit beiden Kategorien von Elementen zu reagiren, und da auch hier die Elektronen aus dem Spiele zu bleiben scheinen, so wird die Möglichkeit einer rein unitarischen Auffassungsweise bei den Kohlenstoffverbindungen verständlich.

Sobald aber ein positives und ein negatives Element mit einander reagiren, tritt die Fähigkeit der Ionenspaltung auf, d. h. mit diesem chemischen Processe ist eine Addition oder Aufspaltung eines masselosen elektrisch neutralen Molecüls verbunden; es scheint mir sehr bemerkenswerth, dass diese Vorgänge mit einer viel durchgreifenderen Veränderung des gesammten Verhaltens verbunden sind, als diejenigen, bei denen eine Mitwirkung der Elektronen nicht stattzufinden scheint; denn während die Verbindungen der Metalle unter einander deutlich metallischen Charakter bewahren und die Verbindungen zwischen Metalloiden ebenfalls deutlich an das Verhalten ihrer Bestandtheile erinnern, entsteht offenbar etwas ganz Neues und Eigenartiges, wenn ein Metall mit einem Metalloide reagirt. Eine Substanz wie Chlornatrium weist gegen ihre Componenten die denkbar grössten Verschiedenheiten auf, wie auch bei der Bildung solcher Verbindungen offenbar ganz besonders mächtige chemische Kräfte mitwirken.

Natürlich scheint es nicht unmöglich, dass auch bei den nicht polaren Wechselwirkungen elektrische Kräfte im Hintergrunde sich befinden, wie man ja auch jetzt schon vielfach hofft, die Newton'sche Attraction ähnlich, wie es mit der Optik gelang, auf elektrische Phäno-

mene zurückführen zu können. Das ist aber doch lediglich Sache der Zukunft; zur Zeit wird man gut daran thun, die Kräfte polarer Natur sorgfältig von den unitarischen zu trennen.

Das hier dargelegte Schema lässt die Möglichkeit vorhersehen, dass ein Element oder Radical mit einem positiven oder negativen Elektron zu reagiren vermag, ohne dass gleichzeitig ein anderes Element von damit entgegengesetzt polarem Charakter sich des freigewordenen Elektrons bemächtigt. Wenn dies geschähe, so würde das freie Elektron in Analogie zu den gewöhnlichen chemischen Processen mit einem bestimmten Dissociationsdruck in Freiheit gesetzt werden, der sich in der lebendigen Kraft des fortgeschleuderten freien Elektrons äussern würde. Vielleicht verdanken die Becquerel-Strahlen einem solchen chemischen Processe ihre Entstehung; da man auch hier bisher nur das Auftreten freier negativer Elektronen beobachtet hat, so gewinnt es überhaupt den Anschein, als ob die positiven Elektronen viel schwieriger zu isoliren, d. h. viel fester von den Elementen metallischer Natur gebunden seien, als die negativen Elektronen von den Metalloiden.

Bei dem Versuch, uns mit den wichtigsten elektrischen Experimentalmethoden der chemischen Forschung bekannt zu machen, sind wir unwillkürlich auf die Frage nach der Natur der chemischen Kräfte überhaupt und dem Wesen der Elektricität selber zu sprechen gekommen, und damit geriethen wir dann in ein mehr speculatives Fahrwasser, wobei das Festland der unmittelbaren Erfahrung und Messung unseren Blicken zeitweilig fast entschwand. Bleibenden Bestand haben in unserer Wissenschaft ja zunächst nur die Ergebnisse des Experiments und die daraus abgeleiteten Versuchsmethoden; so lange es eine Naturforschung giebt, wird man wohl nicht mehr aufhören, chemische Verbindungen durch den galvanischen Strom zu zersetzen und die elektrische Leitfähigkeit von Lösungen zu messen. Physikalische und chemische Theorien hingegen kommen und vergehen, wenn auch sie vielleicht doch nicht ganz so vergänglich sind, wie man bisweilen annimmt. Das Wort eines römischen Dichters:

> Nec perit in toto quicquam, mihi credite, mundo,
> Sed variat faciemque novat.
>
> (Ovid)
>
> (In der weiten Welt geht sicherlich nichts verloren, es verändert sich nur und bekommt ein neues Gesicht),

ein Wort, in welchem wir wohl eine der ersten Vorahnungen der modernen naturwissenschaftlichen Sätze über die Erhaltung der Substanz erblicken können, dies Wort gilt vielleicht auch für die naturwissenschaftlichen Hypothesen und Theorien, durch die eine Fülle von Erscheinungen der Aussenwelt der strengen Logik einer einfachen Grundanschauung unterworfen wird; auch die Kraft solcher Theorien ist, wie

es scheint, unverwüstlich. So glaube ich auch, dass die zeitweise in den Hintergrund gedrängte oder gar verachtete Theorie der substantiellen Natur der Elektricität nicht völlig verschwinden wird, so oft sie noch in veränderter Form und in neuem Gewande vor das Forum naturwissenschaftlicher Discussion treten möge. Gewiss ist der Gedanke fern abzuweisen, dass man im Besonderen in der Helmholtz'schen Auffassung einer atomistischen Structur der Elektricität es bereits mit einem fertigen Lehrgebäude zu thun hat; trotzdem habe ich es versucht, diese Theorie, die wir auch kurz als chemische Theorie der Elektricität bezeichnet haben, in ihren Consequenzen darzulegen und vielleicht in einigen Punkten weiterzubilden; denn es handelt sich hier meiner Ueberzeugung nach um eine Auffassung, die dem Jünger der Naturwissenschaft das bietet, was so recht sein tägliches Brod ist, nämlich neue Probleme und neue Anregung zum Weiterarbeiten.

V.

Ueber die in den Organismen wirksamen Kräfte.

Von

J. Reinke.

Die Natur ist für uns ein System von Kräften. Die Materie gelangt nur dadurch zu unserer Wahrnehmung, dass Kräfte von ihr ausgehen, die auf unsere Sinne wirken; auch sie löst sich für uns auf in eine Schaar von Kräften. Der umfassendste Gesichtspunkt für die Betrachtung der Natur ist daher der dynamische. Wirksamkeit und Wirklichkeit sind auch sprachlich verwandte Begriffe.

Wenn wir im Rahmen des Gesammtbildes der Natur unseren Gesichtskreis einschränken auf die lebendigen Wesen, so ist deren Zahl und Mannigfaltigkeit eine so ungeheure, dass wir unbedingt einen einzelnen Typus zum Ausgangspunkt der Betrachtung wählen müssen. Dafür scheint mir derjenige Typus am meisten geeignet, in dem alle Seiten des Lebens am vollkommensten entwickelt, alle Functionen am deutlichsten gesondert sind, alle Erscheinungen am unmittelbarsten auf uns wirken: es ist dies der mit Verstand und Bewusstsein begabte Mensch, von dem eine lange Stufenleiter hinabführt zu den unvollkommensten Thieren und Pflanzen, zu der einfachen Zelle, zum Protoplasma.

Auch der Mensch ist für den Naturforscher ein System harmonisch geordneter Kräfte. Die von diesen Kräften abhängigen Erscheinungen können wir zerlegen in physikalisch-chemische oder, kürzer gesagt, energetische und in psychische. Die Grundfrage für den Biologen muss bei diesem Gange der Betrachtung dahin lauten, ob auch in allen übrigen Organismen jene beiden Klassen von Kräften, die energetischen und die psychischen, in Wirksamkeit stehen. Um diese Frage entscheiden zu können, bedarf es zunächst einer Orientirung über die Begriffe der Kraft und der Energie.

Um das Wesen des Kraftbegriffes festzustellen, ist es nützlich, die ursprüngliche Bedeutung des Wortes Kraft ins Auge zu fassen. Wir

kommen da wieder auf den Menschen. Der sprachliche Ursprung von Kraft führt auf die Muskelkraft zurück. Von da aus wurde der Begriff der Kraft übertragen einerseits auf die leblose Natur, indem man von Wasserkraft, Windkraft, Dampfkraft, Schwerkraft und in wissenschaftlicher Verallgemeinerung von mechanischer Kraft spricht; andererseits übertrug man den Kraftbegriff von den Muskeln auch auf die Seele des Menschen, ich erinnere an die Willenskraft, die Geisteskraft, die Einbildungskraft.

Eine wissenschaftliche Anwendung hat der Begriff der Kraft zunächst in der Mechanik erfahren, und wir verstehen unter mechanischer Kraft die Fähigkeit, etwas zu bewegen, eine Masse zu beschleunigen; in der ertheilten Beschleunigung ist ein Maassstab für die Grösse der Kraft gegeben.

Neben dem Begriffe der Kraft machte sich dann in der Physik mehr und mehr der Begriff der Arbeit geltend, ein Wort, das wiederum an die Muskelarbeit des Menschen anknüpft. Durch den Begriff der Arbeit sind wir dahin gelangt, Arbeit verrichtende Kräfte von anderen zu unterscheiden, und die ersteren fassen wir zusammen unter dem Begriffe der Energie. Die mechanische Energie überwindet die Trägheit eines Körpers und leistet dabei mechanische Arbeit.

In dem heute geltenden wissenschaftlichen Sprachgebrauche ist Kraft daher der weitere, Energie der engere Begriff; jede Energie kann auch als Kraft aufgefasst werden, aber nicht jede Kraft ist Energie. Kraft ist Wirksamkeit im Allgemeinen, ist die Fähigkeit, etwas zu bewirken, zu beeinflussen; Energie ist die Fähigkeit, mechanische Arbeit zu leisten. Wenn etwas bewirkt wird, muss ein Wirkendes dasein, und dies Wirkende nennen wir Kraft. Kraft ist Wirkungsvermögen, Energie ist Arbeitsvermögen. Von Kraft im allgemeinsten Sinne sprechen wir, wenn eine Naturerscheinung eine andere beeinflusst.

Die hier entwickelte Auffassung des Krafftbegriffs deckt sich im Wesentlichen mit derjenigen, die HELMHOLTZ vertritt. Dieser äussert sich darüber folgendermaassen[1]): „Der wahre Sinn, der die Einführung des Kraftbegriffes rechtfertigt, besteht nun darin, dass die Kräfte als immer bestehende, nach unveränderlichen Gesetzen wirkende Ursachen angesehen werden, deren Wirkung zu allen Zeiten unter denselben Verhältnissen die gleiche sein muss".

Die Energien gehorchen unter allen Umständen dem Erhaltungsgesetze, das gilt aber keineswegs von den übrigen Kräften. Die lichtbrechende Kraft des Diamanten oder die doppelbrechende Kraft des Kalkspaths können ein Jahrtausend lang Lichtstrahlen gebrochen oder polarisirt haben, ohne sich dabei im Mindesten zu vermindern; löst man den Kalkspath in Salzsäure auf, so verschwindet seine doppelbrechende

1) Vorlesungen über theoretische Physik, I,2. S. 24.

Kraft, ohne dass ein Aequivalent dafür auftritt. Aehnliche Kräfte sind die dispergirende Kraft eines Prisma, die reflectirende Kraft eines Spiegels, das Vermögen einer Zuckerlösung, die Ebene des polarisirten Lichtes zu drehen.

Für die verschiedenen Arten von Energie ist charakteristisch, dass sie in einander umgewandelt werden können; für die Kraft im Allgemeinen trifft dies nicht zu, denn es giebt Kräfte, die nicht in einander übergeführt werden können. Darum ist Kraft mehr ein qualitativer, Energie mehr ein quantitativer Begriff, und die Quantität der potentiellen Arbeitsleistung in einem geschlossenen materiellen System bleibt unter allen Umständen constant. Deswegen ist die Energie unzerstörbar, während es Kräfte giebt, die vernichtet werden können.

Dies Letztere gilt namentlich von denjenigen Kräften, welche die Richtung einer Bewegung bestimmen. Schon das Brechungsvermögen kann dafür als Beispiel dienen; hier ein anderes. Wenn ein Zug in den Bahnhof einfährt, so ist ein gewisser Aufwand von Muskelarbeit erforderlich, um den Hebel der Weiche zu drehen, damit der Zug an den richtigen Bahnsteig geräth. Träumt aber der Weichensteller, so kann er den Hebel mit genau dem gleichen Arbeitsaufwande verkehrt drehen: der Zug läuft nun mit voller Wucht auf einen zur Abfahrt bereiten Güterzug und richtet unsägliche Verwüstung an. So repräsentirt der Verlauf der Schienen auch eine Kraft, die, ohne Arbeit zu leisten, doch die gewaltige Masse beziehungsweise Energie des Eisenbahnzuges zwingt, sich in einer vorausbestimmten Richtung zu bewegen.

Auch bei jeder Auslösung kommen der Kraftbegriff wie der Energiebegriff zur Geltung. Beim Abdrücken eines Gewehrs ist die auslösende Kraft zwar auch Energie, doch quantitativ viel geringer, als die ausgelöste Menge von Energie. Die geringfügige Muskelarbeit des Fingers ist dennoch die Kraft, welche die Explosion bewirkt. Daher repräsentiren alle Transformatoren verschiedener Energieformen in einander Kräfte, die den Arbeitsleistungen des Systems nicht vergleichbar zu sein brauchen. Solche Transformatoren sind gegeben in der Configuraration eines Apparats, es sind Kräfte, die mit dem gleichen Aufwande von Energie die verschiedenartigsten Leistungen erzeugen können. Durch Zusammendrücken einer Spiralfeder bewirken wir, dass eine Pendeluhr eine Woche hindurch den Lauf der Zeit angiebt; durch Zusammendrücken einer genau gleichen Spiralfeder bewirken wir, dass ein anderes mechanisches System einen Walzer von Strauss erklingen lässt; und durch das Zusammendrücken einer dritten, den beiden ersten wiederum gleichen Feder setzt ein Kind einen kleinen Wagen in Bewegung, der einige Minuten lang im Zimmer umher läuft. Hier ist es nicht die Energie, von der die specifische Leistung des mechanischen Systems abhängt, sondern es sind die in der Configuration, d. h. in der Form des Apparats gegebenen Kräfte, welche die Thätigkeit desselben bestimmen;

neben diesen spielt die beim Aufziehen eingeführte Energie nur die Rolle einer wohl unerlässlichen, aber doch untergeordneten Kraft, welche die für das Zustandekommen der besonderen Leistungen nöthige mechanische Arbeit verrichtet. Ein Theil des Kraftinhalts eines solchen Systems ist also in seiner Form, beziehungsweise in seiner Structur gegeben.

Unter solchen Umständen kann somit die Form als Kraft auftreten, und es sind verschiedene Kräfte, die das eine Mal die mechanische Energie veranlassen, den ganzen Apparat fortzutreiben, das andere Mal ein Tonstück hervorzubringen, das dritte Mal einen Stunden- und Minutenzeiger langsam zu drehen. Die Form ist in diesen drei Fällen unter Verwendung der gleichen Energie das bewirkende, den Ausschlag gebende Agens.

Wir haben in den als Beispiele angeführten Mechanismen Kraft als Energie und Kraft als Form unterschieden, und zwar ist die letztere Kraft die herrschende, ihre Wirkung die vom Verfertiger des Apparats angestrebte; dem gegenüber der zum Betriebe nöthigen Energie nur die Rolle eines Sklaven zufällt. Um einen kurzen Ausdruck dafür zu gewinnen, habe ich in früheren Arbeiten jene herrschenden, in der Configuration eines Systems gegebenen Kräfte Dominanten genannt und sie dadurch scharf von den Energien unterschieden. Die Dominanten wirken auf die Energie ein und verwenden sie zu einem bestimmten Zwecke, während andererseits Dominanten ohne Energie zur Unthätigkeit verurtheilt sind, wie jedes abgelaufene Uhrwerk zeigt. Nur in der Wechselwirkung von Dominanten und Energie kann die Thätigkeit eines Mechanismus sich geltend machen. Actuell werden die Dominanten erst bei Wechselwirkung mit disponibler Energie, sonst verhalten sie sich potentiell, während die Energie ohne Lenkung durch Dominanten keine specifischen Leistungen hervorbringen kann. Die Dominanten fungiren als Kräfte, ohne selbst mechanische Arbeit zu verrichten. Von grösster Bedeutung ist aber, dass Dominanten und Energie causal auf einander einwirken[1]). In der Mechanik pflegen die Dominanten als Maschinenbedingungen eines materiellen Systems bezeichnet und durch „Bedingungsgleichungen" ausgedrückt zu werden.

Während jede Energie neben ihrer Qualität auch immer eine Quantität repräsentirt, sind die Dominanten Qualitäten; aber sie sind Kräfte, weil sie auf die Energie einwirken, weil sie dieselbe zwingen, sich in bestimmten Richtungen zu entwickeln, sie zertheilen und concentriren, sie richten und reguliren und eine Energieform in eine andere umwandeln.

1) Der Begriff „Dominanten" entspringt einem Bedürfniss nach einfacher Beziehung eines zweifellosen Abhängigkeitsverhältnisses, er bedeutet eine Abstraction von Thatsachen, deren übereinstimmendes Wesen er andeutet. Lotze nannte die Dominanten „Kräfte zweiter Hand".

Die Dominanten der Maschinen beruhen also auf der Structur des Apparats, auf relativer Grösse und Gestalt der Theile und auf ihrem Zusammenwirken. Aber der Begriff der Configuration und der Begriff der Dominanten sind darum nicht identisch. Im Begriffe der Dominanten symbolisire ich erst die Wirkung der Configuration auf die Energien; die Configuration ist ein statischer und zugleich potentieller, die Dominanten sind der entsprechende dynamische und actuelle Begriff. Die Dominanten repräsentiren einen in der arbeitenden Maschine vorhandenen actuellen und überenergetischen Zwang, durch sie wird die Energie genöthigt, den in der Maschine verkörperten und immanenten Willen zu erfüllen; sie herrschen, die Energie verrichtet Sklavenarbeit[1]).

Dabei besitzt die Betriebsenergie ursprünglich eine von der Maschine unabhängige Selbständigkeit; sie tritt als ein Werth von gegebener Grösse in die Maschine ein und tritt als solcher aus der Maschine wieder aus; nur im Bereiche der Maschine ist sie deren Dominanten unterworfen.

Seit Cartesius hat man die Organismen nach ihrer Structur und ihren Leistungen den Maschinen verglichen. Dass dieser Vergleich nur bis zu einem gewissen Grade zutrifft, ist oft hervorgehoben worden und kommt hier nicht in Betracht. Uns veranlasst dieser Vergleich aber, zum Ausgangspunkte der ganzen Betrachtung zurückzukehren. Dort wurde festgestellt, dass in Organismen, und zwar im vollkommensten Repräsentanten derselben, im Menschen, zwei Gruppen von Kräften thätig sind, energetische Kräfte und psychische. Also ein Dualismus der Kräfte, wie bei den Maschinen, wo den psychischen Kräften die Dominanten entsprechen. Wir wollen darum untersuchen, ob der Cartesianische Vergleich es gestattet, auch die psychischen Kräfte und die Dominanten einander zu nähern.

Die Kräfte der Seele können wir eintheilen in bewusste und unbewusste. Wenn auch im Menschen die ersteren im Vordergrunde stehen. so möchte ich doch zur Beschränkung der Aufgabe vom Bewusstsein absehen. Denn obgleich wir nicht daran zweifeln können, dass auch die höheren Thiere Bewusstsein besitzen, so lässt sich doch der Nachweis desselben für niedere Thiere und für Pflanzen nicht mit Sicherheit erbringen. Hier sollen aber diejenigen Kräfte erörtert werden, die in allen Organismen wiederkehren, und das sind unter den psychischen die unbewussten.

Auch der höhere Thierkörper ist wie jedes mechanische System ein krafterfüllter Raum. Er ist ein complicirter Mechanismus, in welchem

1) Kant's Definition einer Maschine lautet: „Ein Körper, dessen bewegende Kraft von seiner Figur abhängt, heisst Maschine“ (Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft, neue Ausgabe, Leipzig 1900, S. 72.)

unter Leistung der verschiedenartigsten mechanischen Arbeit ein ununterbrochener Energiewechsel stattfindet. Die Arbeit dieser Betriebsenergie ist ebensowenig eine regellose, chaotische, wie in irgend einer Maschine. Auch im Organismus kann die Energie nur nutzbringend wirken, wenn sie regulirt und gerichtet, zerlegt und gesammelt wird durch lenkende Kräfte, durch Dominanten. Sobald wir von einer Maschinenstructur und Maschinenarbeit der Organismen sprechen, ergiebt sich die unabweisliche Consequenz, dass wir auch die Wirksamkeit von Dominanten oder „Maschinenbedingungen“ neben der Energie, die in den Organismen überwiegend chemische Energie ist, zulassen.

Ich will diesen Gedanken hier nicht weiter ausspinnen, denn zunächst ist es mein Wunsch, das Interesse an den psychischen Kräften der Organismen, und zwar an den unbewusst psychischen, festzuhalten.

Unter diesen Kräften stehen die Instincte obenan. Sie bilden eins der wichtigsten Probleme der Biologie. Beim Menschen weniger entwickelt, treten sie uns besonders bei gewissen Insekten in überraschender Vollkommenheit entgegen. Die Instincte beruhen auf einer Art von Erbweisheit der Thiere. Sie bestehen in Handlungen, die nicht erlernt, sondern von den Vorfahren ererbt sind, und die wir nur den einstudirten, bewusst-intelligenten Handlungen eines Menschen vergleichen können. Darum haben wir Anlass, die Aeusserungen der Instincte als Handlungen anzusehen, die einer unbewussten Intelligenz entspringen. Man hat mit Recht darauf hingewiesen, dass eine Arbeitsbiene mit vollendeter Sicherheit ihre Wachszellen baut, während ein Mensch, wollte er das Gleiche leisten, dazu der Logarithmentafeln bedürfen würde. Die maschinenmässige Sicherheit ist eine besonders bemerkenswerthe Eigenschaft der Instincthandlungen.

Die Instincte sind erblich überkommene Anpassungen an gewisse Lebensaufgaben, physiologische Anpassungen, die man neben den morphologischen niemals vernachlässigen sollte. Wenn die Spinne ihr Netz webt, wenn die Raupe vor der Verpuppung sich einspinnt, wenn der Schmetterling die Schwingen regt, um Blumen und deren Honig aufzusuchen, von denen ihm nichts erzählt worden ist, wenn er seine Eier an Stellen ablegt, wo die auskriechenden Raupen Nahrung finden werden, so folgt er einem ähnlichen, erblich überkommenen Zwange, als wenn die Raupe sich zur Puppe wandelt, wenn in der Puppe der Saugrüssel, die langen Beine und die Flügel des Schmetterlings sich ausbilden, und wenn in bestimmten Schuppen des letzteren gelbe, rothe oder blaue Farbstoffe zur Ausbildung gelangen.

Es erscheint uns somit der Instinct so gut als Wirkung eines Erbzwangs, wie jede einzelne Phase in der embryologischen Entwicklung irgend eines Thiers oder irgend einer Pflanze. Man hat Einwendungen erhoben gegen die Erblichkeit des Instincts gerade bei den Familien bildenden Insekten; wie mir scheint, mit Unrecht. Man hat gesagt, die

Arbeitsbiene könnte ihre so merkwürdigen Instincte nicht ererbt haben, da weder die Mutter, die Königin, noch der Vater, die Drohne, diese Instincte äussern und da sie selbst unfähig zur Fortpflanzung ist. In Wirklichkeit dürften aber die Instincte der Arbeitsbiene uns nur Anlass geben, unsere Vorstellungen von der Erblichkeit zu vervollständigen. Es kann nicht bezweifelt werden, dass die Königin auch die Anlagen der Arbeitsinstincte vererbt, dass diese Anlagen aber in ihr selbst wie in jedem ihrer Nachkommen mit entwickeltem Geschlechtsapparate latent bleiben, und dass sie nur zur Entfaltung gelangen in Weibchen, die geschlechtlich functionslos sind, eben den Arbeitsbienen. So liefern uns gerade die Bienen ein wichtiges Beispiel correlativer Vererbung und der Latenz von erblich in der Kette der Generation übertragenen Anlagen.

Wenn ich somit den Instinct aufgefasst habe als eine vererbbare physiologische Eigenschaft, wie es deren in jedem Thier und in jeder Pflanze viele giebt, so ist darum der Instinct nicht minder eine psychische Kraft, und seine Erklärung bildet ein psychologisches Problem. Haben wir nun die ontogenetische Ausbildung des Instincts in eine Linie gerückt mit der Ausbildung jeder anderen physiologischen Function und jedes Organs, das als Werkzeug einer solchen Function zu handeln bestimmt ist, so entsteht die Frage, ob nicht die Ausbildung aller jener Functionen und der zugehörigen Organe auch ein psychologisches Problem darstellt, ob es nicht psychische Kräfte sind, eine unbewusste Intelligenz, die aus jedem Acte der Entwicklungsgeschichte zu uns spricht, ob ein wesentlicher Unterschied darin besteht, wenn die Spinne ein Netz webt zum Fang ihrer Beute, oder wenn sie entwicklungsgeschichtlich ihre Beine mit einem Chitinpanzer umschient und ihre Mundwerkzeuge oder ihre Spinndrüsen ausbildet.

Als Botaniker habe ich fast zu lange schon bei Beispielen aus dem Thierreiche verweilt; ich möchte nun hervorheben, dass es kaum eine Erscheinung im Pflanzenreiche giebt, auf die sich der Gesichtspunkt des instinctiven Handelns nicht anwenden lässt. Die Kürze der Zeit zwingt mich zur Beschränkung auf wenige Beispiele. Die merkwürdigen Eigenschaften des Geotropismus bestehen darin, dass die Pflanze sich der ihr durch geeignete Zwischenmechanismen zu Gebote stehenden Energie der Erdschwere bedient, um mit Hülfe derselben ihre Axen verschieden zu richten. Die Primäraxe des Stengels findet ihre stabile Gleichgewichtslage im Erdradius, die Primäraxe der Wurzel desgleichen, doch beide wachsen in entgegengesetzter Richtung. Dadurch wird ermöglicht, dass die Laubkrone eines Baums sich in die Luft und zum Lichte emporreckt, während das gesammte Wurzelsystem unter den Boden versenkt wird. Würden die Seitenaxen in gleicher Weise auf die Schwere reagiren wie die Hauptaxe, so würde jeder Baum aus einem verticalen Bündel verwachsener Aeste bestehen und jedes Wurzel-

system aus einem entsprechenden, senkrecht in den Boden eingetriebenen Pfahl. Da aber die Seitenaxen von Wurzel und Stamm in ganz anderer Weise auf die Gravitation reagiren, so vermag die Krone am Lichte sich auszubreiten und das Wurzelsystem in zahllosen Fasern den Boden in weitem Umkreise um die Hauptwurzel zu durchwuchern, was Beides für die Ernährung der Pflanze ein Gebot der Nothwendigkeit ist. Jeder Versuch einer rein energetischen Erklärung dieser Erscheinung scheitert; wir müssen uns vorstellen, dass Kräfte, die sich den Instincten der Thiere vergleichen lassen, die Energie in ihren Dienst zwingen, um damit eine das Leben der Pflanze sichernde Handlung auszuführen, eine Handlung, die sich wie jede instinctive Handlung mit automatischer, maschinenmässiger Sicherheit vollzieht, und welche diese Sicherheit einem Erbzwange verdankt. Mit den verwickelten Erscheinungen des Heliotropismus des Stengels und der Blätter steht es nicht anders, sie verlaufen denen des Geotropismus im Ganzen analog, und mag darum der einfache Hinweis genügen. Aber auch die Absonderung des Honigs in den Blumen, die Aufnahme bestimmter Nährstoffe aus dem Substrat, die Ausbildung von Verbreitungsmitteln an Früchten und Samen sind instinctive Handlungen, und schliesslich werden wir nicht umhin können, alle mit dem Zwange der Nothwendigkeit sich vollziehenden erblichen Bildungen hier anzuschliessen. Auch die Chlorophyllbildung und die Chlorophyllfunction sind ererbt, so gut wie das Vermögen zu athmen und die Zellkerne mitotisch zu theilen, und können in diesem Sinne als instinctive Eigenschaften angesehen werden.

Die Erblichkeit chemisch oder sonst irgendwie energetisch erklären zu wollen, halte ich für ein vergebliches Bemühen. Spielt zweifellos chemische Energie in diesem wie in jedem anderen physiologischen Process eine bedeutsame Rolle, so kommen doch die energetischen Kräfte in den Organismen so wenig wie in den Maschinen über die Rangstufe dienender Kräfte hinaus. Würden sie die Herrschaft ausüben, so würde nur ein zuletzt in stabilen Verbindungen endendes Chaos von Stoffbewegungen bestehen können, doch niemals ein harmonisch geordneter und gesetzmässig functionirender Organismus. Zudem fehlt es auf dem weiten Gebiet der Chemie an jedem Beispiel, an jeder Analogie, um daraus das Wesen der Vererbung oder irgend eines anderen instinctiven Vorgangs auch nur hypothetisch erklären zu können. Verschiedene Stoffe und Reagentien wirken nur gesetzmässig zusammen, wenn sie von einem Chemiker richtig gehandhabt werden, wenn ihre Energie von seiner kundigen Hand, seiner Intelligenz gelenkt und geleitet wird. Darum kann man auch ein Thier oder eine Pflanze oder ein Organ derselben wohl einer chemischen Fabrik, in der neben den chemisch-energetischen auch intelligente, psychische Kräfte thätig sind, vergleichen, keineswegs aber sie als eine blosse Summe von Stoffen auffassen.

Es giebt ein lebloses Instrument, dessen Verhalten eine gewisse

auch immer noch recht entfernte Analogie zum Vererbungsprocess darbietet, es ist der Phonograph. Wie ein Gedicht, eine Rede, in den Phonographen hineingesprochen, auf der Platte desselben sich gewissermaassen als latente Anlage condensirt, um sich später unter der Mitwirkung elektrischer Energie von Neuem zu entfalten, so halten die Eigenschaften des Thier- und Pflanzenkörpers in die Keimzelle ihren Einzug, um hier latent zu werden und sich später im Verlaufe des embryologischen Processes zu entwickeln und die Eigenschaften der Eltern zu reproduciren. Damit hat sich wenigstens in dynamischer Hinsicht auch die Vererbung einem Vorgange auf dem Gebiete der Maschinen vergleichen lassen.

Somit wären wir wieder bei der Cartesianischen Lehre von der Maschinenstructur und der Maschinenfunction der Organismen angelangt, nachdem ich bereits die unbewusst intelligenten Instincte als psychische Kräfte hingestellt hatte, die mit maschinenmässiger Sicherheit handeln. Dieser letztere Umstand scheint mir die grösste Aufmerksamkeit zu verdienen.

Wenn wir die automatische Thätigkeit einer Taschenuhr, einer Spieldose, einer den complicirten Betrieb einer Fabrik aufrecht erhaltenden Kraftmaschine ins Auge fassen, sollten wir da fehl gehen, wenn wir diese Thätigkeiten einer unbewussten, den Maschinen innewohnenden Intelligenz zuschreiben? Wenn wir von den unbewussten Aesserungen einer Maschinenseele sprechen? Nannte doch schon Aristoteles die Form die Seele eines jeden Dinges. Auf den Bahnhöfen grosser Städte finden wir Automaten, die uns auf den Einwurf eines Geldstücks eine Fahrkarte verkaufen; mag diese Thätigkeit auch eine noch so einseitige, meinetwegen noch so mechanische sein, gelangen in ihr nicht psychische Kräfte zur Geltung, welche die zur erforderlichen mechanischen Arbeit in Anwendung kommende Energie beherrschen und sie nur als Dienerin einer unbewusst intelligenten Handlung erscheinen lassen? Sicher besteht hier ein Dualismus der Kräfte: herrschende, überenergetische und dienende, Arbeit verrichtende; zerschlagen wir den Automaten, so sind die ersteren vernichtet, während jede verbrauchte Energie irgendwo ihr Aequivalent findet.

Vergleiche dieser Art haben in mir die Hypothese geweckt, dass eine Analogie besteht zwischen den Dominanten der Maschinen und den unbewusst psychischen Kräften der Organismen, ja, sie haben es mir wahrscheinlich gemacht, dass beide von der Structur des Apparats abhängen und darum im Wesentlichen identisch sind. Diese meine Anschauung möchte ich als die mechanistische Auffassung des Lebens bezeichnen, oder, wenn man dies vorzieht, als die mechanistisch-vitale. Ihr Kern besteht darin, dass den in den Organismen arbeitenden Energien nur der Werth dienender Kräfte zukommt, die beherrscht werden von den Gesetzen der Form und den aus ihr sich ergebenden Kräften.

Ich glaube, dass diese Auffassung durchaus verschieden ist vom sogenannten Vitalismus, der in der Lebenskraft herrschende und dienende Kräfte zusammenwarf. Im Vitalismus sollte die Lebenskraft die Wunder der Organisation hervorbringen; nach meiner Auffasssung erzeugt umgekehrt die Organisation die Dominanten. Die Lebenskraft sollte Alles wissen und planmässig die Verrichtungen des Organismus ausüben. Die Dominanten handeln unbewusst, sie wissen so wenig von dem, was sie leisten, wie das Räderwerk eines Chronometers oder wie die Linse, die ein Bild in die Dunkelkammer des Photographen wirft. Die Vitalisten verwarfen jede Vergleichung der Organismen mit mechanischen Apparaten; ich bin bereit, die Organismen bis zu einer gewissen Grenze als Maschinen zu definiren. In der Physiologie der Pflanzen und Thiere von einer Lebenskraft zu sprechen, scheint mir so viel Sinn zu haben, als wollte man in der Technik eine Maschinenkraft gelten lassen, die bald Taschenuhren, bald Locomotiven, bald Phonographen in Scene setzt. Darum sollte von der Lebenskraft füglich nicht länger die Rede sein.

Auf der anderen Seite ist es unmöglich, mit der Energetik zur Erklärung der Lebenserscheinungen auszukommen. Die Energetik ist für die Physiologie so unzulänglich, wie für die Maschinenkunde, denn in jeder Maschine sind die Transformatoren der Energie nicht weniger wichtig, als die Energie selbst. Im Betriebe einer chemischen Fabrik, in einer thätigen Maschine, in einem Organismus sehen wir zahlreiche energetische Elementarprocesse in harmonischer, d. h. nothwendiger und gesetzmässiger Verknüpfung ablaufen. Diese gesetzmässige Folge jener Elementarprocesse ist aber keine Function der Energie selbst, sondern eine Leistung von Kräften, die über der Energie stehen und sie beherrschen, von Kräften, die ich bei Thieren und Pflanzen als unbewusst psychische Kräfte zusammengefasst habe.

Meine Hypothese geht also dahin, dass jene psychischen Kräfte der Organismen Dominanten sind, d. h. dass sie von der Configuration des Organismus, beziehungsweise von der unsichtbaren Structur des Protoplasma abhängen. Wenn sie keine Dominanten wären, so könnten sie nur eine besondere Art von Energie sein, und eine solche Annahme würde uns wieder ganz nahe an die Lebenskraft heranführen. Die Dominanten denke ich mir gebildet durch die Configuration der wägbaren Materie — wären die unbewussten Seelenkräfte Aeusserungen einer besonderen Energie, so könnten wir uns diese nur getragen denken von einer unwägbaren Materie und würden damit die Annahme eines imponderablen Seelenstoffes gar nicht vermeiden können.

Allein die psychischen Kräfte sind den energetischen übergeordnet, und schon dieser Umstand spricht dagegen, sie als eine besondere, über den anderen stehende Energieform aufzufassen, weil die uns bekannten Energiearten einander quantitativ gleichwerthig sind. Auch lassen die

psychischen Kräfte, beziehungsweise die Dominanten sich nicht in einander umwandeln, wie die Energien.

Zu den unglücklichsten Lehren der modernen Psychologie rechne ich den sogenannten psychophysischen Parallelismus, wonach causale Wechselbeziehung zwischen Seele und Leib unmöglich sein soll. Wenn man dies Princip zulässt, statuirt man damit einen klaffenden Riss durch die Causalität der belebten Natur. Für mich unterliegt es nicht dem geringsten Zweifel, dass jenes Dogma eine philosophische Absurdität ist, und dass für den Bereich der unbewussten wie der bewussten Seele causale Wechselbeziehungen zwischen den Seelenkräften und den materiellen, beziehungsweise energetischen Systemen vorkommen, die als Träger der Seelen dienen. Während ich zu Ihnen spreche, wirkt meine Seele, wirken meine Gedanken durch den Willen auf die Musculatur des Kopfes und durch diese energetisch, d. h. arbeitsleistend auf die Aussenwelt durch Erregung von Schallwellen. Wenn Sie meine Worte hören, wirkt das materielle System der Luftwellen durch den Zwischenmechanismus der Nerven causal auf Ihre Seelen ein, — wer vermöchte sich der Wahrheit dieser Thatsache zu verschliessen? Ganz das Nämliche gilt aber auch von der Wirkung der unbewusst psychischen Kräfte auf das materielle Substrat eines Organismus und von der Wirkung der Dominanten einer Maschine auf deren Betriebsenergie; und umgekehrt werden die Dominanten der Maschine erst dadurch activirt, dass man derselben Betriebsenergie zuführt. Auch dieser Gedankengang unterstützt meine Auffassung, dass die unbewusst psychischen Kräfte in den Thieren und Pflanzen Dominanten sind.

Was endlich das Bewusstsein und die bewussten Seelenkräfte anlangt, so tritt uns in ihm ein tiefes Geheimniss der Biologie entgegen, von dem auch nur einen Zipfel des Schleiers zu lüften bis jetzt nicht gelungen ist. Da aber der Mensch unzweifelhaft zur belebten Natur gehört, ist auch das Bewusstsein unter die Probleme der Biologie zu rechnen. Jedenfalls ist die bewusste Intelligenz des Menschen von der unbewussten total verschieden schon darum, weil sie genöthigt ist, die von ihr abhängigen Fertigkeiten zu lernen. Bei den instinctiven psychischen Functionen wird das specielle Können vererbt; bei den bewussten wird nur die Fähigkeit vererbt, das specielle Können durch Lernen zu erwerben. Somit haben wir es im Menschen, dem Höhepunkt in der Entwicklung des Lebendigen, in dynamischer Hinsicht mit einer Trias zu thun, die der alten Eintheilung in Leib, Seele und Geist einigermaassen entspricht, und die wir bei dem heutigen Stande der Biologie bezeichnen können als Energie, Dominanten und bewusste Seelenkräfte. Ueber die Natur der letzteren vermögen wir uns keine Vorstellung zu bilden, die den Vergleich mit einer bekannten Naturerscheinung gestattet. Jede Erklärung besteht aber in einem glücklichen Vergleich des zu Erklärenden mit etwas Bekanntem.

Doch lassen wir das Bewusstsein bei Seite. Energie und Form sind die Grundlage, auf der die Probleme der Biologie sich aufbauen. Da die Betriebsenergie der Organismen im Wesentlichen chemische Energie ist, so sind es die Stoffe, aus denen Form wie Energie gebildet werden, und ich unterscheide darum in den Pflanzen und Thieren zwei Gruppen von Stoffen, Baustoffe und Arbeitsstoffe. Die Baustoffe sind es, welche die Form constituiren, vom Chitinpanzer eines Gliederthiers und den Zellwänden einer Pflanze bis zu den Chromosomen des Kerns und der unsichtbaren Configuration des Protoplasma hinab; sie bestimmen die Dominanten des Organismus. Die Arbeitsstoffe hingegen liefern durch ihre chemische Umlagerung die zur Unterhaltung der Lebensbewegungen erforderliche kinetische Energie, sie sind es, die vorzugsweise den Stoffwechsel ausmachen, einen Strom von Energie, der von aussen her in den Organismus eintritt, um ihn nach geleisteter Arbeit wieder zu verlassen, wie das Wasser bei einer Mühle. Mit dieser Eintheilung soll nicht gesagt sein, dass beide Kategorien von Stoffen immer streng von einander geschieden sind. Sie können es sein; so sind z. B. der Schwefelwasserstoff und der Schwefel bei Beggiatoa, die im Leben dieses Organismus eine grosse Rolle spielen, immer nur Arbeitsstoffe und nie Baustoffe, indem sie im Athmungsprocess der Zellen verbrannt werden. Wohl aber kann Organeiweiss, wenn Mangel an Arbeitseiweiss eintritt, sofern es nicht ganz unentbehrlich ist, der Zersetzung anheimfallen, wie auch Kohlehydrate sowohl als Baustoffe wie als Arbeitsstoffe zu dienen vermögen, z. B. der Traubenzucker bei Pflanzen, indem er theils verathmet, theils in feste Zellwandsubstanz umgewandelt wird. Aber physiologisch und dynamisch, worauf es hier ankommt, ist der gemachte Unterschied ein wesentlicher.

So wenig es aber einen Taschenuhrenstoff, einen Phonographenstoff u. s. w. giebt, so wenig darf von einem Augenstoff, einem Ohrenstoff, einem Staubfadenstoff u. s. w. die Rede sein. Immer handelt es sich um Zersetzungen und Synthesen von Kohlenstoffverbindungen, deren gesetzmässiger, sich mit Nothwendigkeit vollziehender Ablauf nur durch Dominanten geregelt werden kann, wobei allerdings die Bildung einer Verbindung an sich schon als Dominante für die Erzeugung einer anderen zu dienen vermag, als Reiz morphologische Bildungen auslösen kann, wie uns das bei den Gallenbildungen ad oculos demonstrirt wird. Aber auch in den Fällen, wo Stoffe durch Ausübung eines morphogenen Reizes besondere Wachsthumserscheinungen hervorrufen, thun sie dies nicht durch rein energetische Wirkung, sondern dadurch, dass sie auf ein gegebenes System von Dominanten einwirken und dies so weit verändern, dass es von den bisherigen abweichende Bildungen hervorbringt. Weder die chemischen Arbeiten im Organismus noch die Gestaltungen, sie mögen sein, welche sie wollen, sind ohne das Zusammenwirken von chemischer Energie und von Dominanten verständlich.

Durch die Möglichkeit energetischer Einwirkung auf das Dominantensystem eines Thieres oder einer Pflanze ist die Form derselben als eine nicht unabänderliche bestimmt; und das ist für unsere Vorstellung von den die Organismen beherrschenden Kräften von hoher Bedeutung. Diese Erscheinung liefert den Schlüssel zum Verständniss der Mannigfaltigkeit und der Variabilität.

Ich eile zum Schluss. In jeder Zelle, in jeder Pflanze, in jedem Thier sind zweierlei Kräfte zu unterscheiden, dienende und arbeitende, die Energien, und herrschende, lenkende, die Dominanten. Beide sind für den Bestand des Lebens gleich nothwendig, und beide vermögen causal auf einander einzuwirken. Im instinctiven Handeln der Insekten treten die Dominanten als psychische Kräfte hervor, aber ein principieller Unterschied zwischen jenen Instincthandlungen und aller gestaltenden und sonstigen Thätigkeit des Thier- und Pflanzenkörpers lässt sich nicht feststellen. Es ist biologisch nebensächlich, ob der Dachs seinen Wintervorrath als Fett unter der Haut ansetzt oder ob der Hamster ihn in Gestalt von Körnern in seinen Bau zusammenträgt. Dadurch fällt für die Biologie das Problem der Dominanten mit dem psychischen Problem zusammen, sofern wir vom Bewusstsein absehen. Darum sollte bei den physiologischen Arbeiten des neuen Jahrhunderts das psychische Problem nicht unberücksichtigt bleiben. Haben wir alle doch nur ein einziges Ziel vor Augen, nämlich die Wahrheit zu erkämpfen; die Wahrheit, mag sie uns gefallen oder nicht. Lichtenberg aber sagt: „Die Wahrheit finden wollen ist Verdienst, wenn man auch auf dem Wege irrt.“

BERICHT

UEBER DIE

GESAMMTSITZUNG BEIDER HAUPTGRUPPEN

SOWIE UEBER DIE

GEMEINSAMEN SITZUNGEN

der naturwissenschaftlichen und der medicinischen Hauptgruppe.

I

Bericht über die Gesammtsitzung der beiden Hauptgruppen.

Mittwoch, den 25. September, Vormittags 10 Uhr.

Die Sitzung fand im grossen Saale des Concerthauses Hamburg statt.

Vorsitzender: Herr Prof. Dr. R. HERTWIG-München.

Der Vorsitzende giebt seiner Freude darüber Ausdruck, dass die Anregung, gemeinschaftliche Sitzungen abzuhalten, in denen Themata von allgemeinem Interesse von medicinischen und naturwissenschaftlichen Referenten besprochen werden, auf fruchtbaren Boden gefallen sei. Dies beweise die zahlreiche Zuhörerschaft, die sich zu den Referaten über die Entwicklung der Ionen- und Elektronentheorie eingefunden habe.

Vors. macht aufmerksam auf den internationalen Aerzte-Congress, der im Jahre 1902 in Kairo stattfinden wird, und spricht die Hoffnung aus, dass dieser Congress von Deutschen zahlreich besucht werde.

Es sprechen zunächst die Herren KAUFMANN-Göttingen und GEITEL-Wolfenbüttel.

1.

Die Entwicklung des Elektronenbegriffs.

Von

W. Kaufmann-Göttingen.

Meine Herren!

Es ist eine nicht ungewöhnliche Erscheinung in der Geschichte der Wissenschaft, dass Anschauungen, die längst für veraltert und überwunden galten, plötzlich, wenn auch in mehr oder weniger modificirter Form, wieder zu Ansehen gelangen. Ein äusserst interessantes Bei-

spiel für diese Erscheinung bietet die im Laufe des letzten Jahrzehnts eingetretene Umwälzung unserer Anschauungen über die elektrischen Vorgänge, über die zu berichten ich heute die Ehre habe.

Die moderne Theorie der elektrischen und der damit eng verknüpften optischen Erscheinungen, die man unter dem Namen der Elektronentheorie zusammenfassen kann, bedeutet gewissermaassen eine Rückkehr zu Anschauungen, wie sie in den 60 er und 70 er Jahren des vergangenen 19. Jahrhunderts von Wilhelm Weber und von Zöllner ausgesprochen worden sind — modificirt durch die Ergebnisse der Maxwell'schen und Hertz'schen Forschuugen. W. Weber fasste die elektrischen Erscheinungen auf als die Wirkung elementarer elektrischer Theilchen, sogen. elektrischer Atome[1]), deren gegenseitige Einwirkung ausser von ihrer Lage auch von ihren relativen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen abhinge. Wenn es nun auch Weber gelang, mittels seiner Annahme die damals bekannten elektrodynamischen Vorgänge völlig zu beschreiben und sogar eine qualitativ ganz brauchbare Erklärung für die Proportionalität zwischen elektrischer und Wärme-Leitung in Metallen, sowie für die Ampère'schen Molecularströme in Magneten zu geben, so war doch seine Theorie weit entfernt davon. Gemeingut der damaligen Physiker zu werden. Der Grund für diesen negativen Erfolg mag wohl in der Thatsache zu suchen sein, dass die meisten Gesetze der Elektrodynamik rein phänomenologisch, in Form von Differentialgleichungen ausgesprochen, sich als viel bequemer und einfacher erwiesen, als die Weber'schen Formeln; ferner macht Weber gar keinen Versuch, die Grösse der von ihm supponirten elektrischen Atome irgendwie zu berechnen und das Rechnungsergebniss durch Anwendung auf andere moleculare Vorgänge zu prüfen. Endlich aber kam hinzu, dass man auf Grund der Arbeiten Faraday's und Maxwell's schliesslich allgemein zu der Ueberzeugung gelangte, dass bei den elektrischen und magnetischen Vorgängen an Stelle der unmittelbaren Fernwirkung eine zeitliche Fortpflanzung zu treten habe, eine Forderung, die übrigens Gauss schon 1845 in einem Briefe an Weber stellte, die aber durch das Weber'sche Gesetz nicht erfüllt wurde. Die bereits in den Jahren 1861—62 entstandenen Abhandlungen Maxwell's, die er dann 1873 in seinem berühmten „Lehrbuch der Elektricität und des Magnetismus" zusammenfasste, sowie die glänzende experimentelle Bestätigung der Maxwell'schen Resultate durch H. Hertz vom Jahre 1887 an schienen geeignet, den Weber'schen Anschauungen auch den letzten Rest von Daseinsberechtigung zu nehmen.

In der That stellten die Maxwell'schen Formeln, denen ja atomistische Begriffe gänzlich fehlen, die elektrischen Fundamentalerscheinungen ebenso gut dar, wie die älteren, auf Fernwirkung aufgebauten, und

---

1) Gesammelte Werke 4, 279.

die neuentdeckten HERTZ'schen elektrischen Wellen konnten überhaupt nur durch die MAXWELL'sche Theorie dargestellt werden.

Es scheint, als ob dieser glänzende Erfolg Anfangs die Forscher blind gemacht habe gegen die Unzulänglichkeit der MAXWELL'schen Theorie den feineren optischen Erscheinungen gegenüber. Nach MAXWELL sollten die Lichtschwingungen ja nicht mechanische Schwingungen des Aethers, sondern elektrische Schwingungen sein, und die beiden Constanten, durch die MAXWELL das elektrische und magnetische Verhalten jedes Körpers definirte (die Dielektricitätsconstante und die Magnetisirungsconstante), mussten auch für sein Lichtbrechungsvermögen maassgebend sein. Wenn nun auch die von MAXWELL geforderte Beziehung [dass nämlich der optische Brechungsexponent gleich der Quadratwurzel der Dielektricitätsconstante sein solle] bei manchen Körpern leidlich erfüllt war, so zeigten doch andererseits viele Körper, z. B. das Wasser, so ungeheure Abweichungen, dass sich schon daraus die Theorie in ihrer ursprünglichen Gestalt als ungenügend erweisen musste. Hierzu kam noch die Abhängigkeit des Brechungsexponenten von der Farbe, für welche die ursprüngliche Theorie gar keine Erklärung gab.

Nun hatte nach einem ersten, noch ungenügenden Versuch SELLMEIER'S[1]) im Jahre 1874 H. v. HELMHOLTZ[2]) eine mechanische Theorie der Farbenzerstreuung aufgestellt, deren Grundlage darin besteht, dass den körperlichen Molecülen gewisse Eigenschwingungen zukommen.

Bereits im Jahre 1880, also zu einer Zeit, wo man in Deutschland noch kaum an die MAXWELL'sche elektromagnetische Lichttheorie glaubte, zeigte H. A. LORENTZ[3]), dass man die Grundlagen zu einer elektromagnetischen Dispersionstheorie ganz analog der früheren mechanischen Theorie erhalten könne, wenn man jedes Molecül als Ausgangspunkt elektrischer Schwingungen bestimmter Periode ansehe. Es heisst dort: „Es mögen sich in einem jeden Körpertheilchen mehrere mit Elekticität geladene Punkte befinden, von denen jedoch nur einer mit der Ladung e und der Masse μ beweglich sei.“ Mit Hülfe dieser Grundannahme schwingungsfähiger geladener Theilchen leitet H. A. LORENTZ dann die Dispersionsgleichungen ab.

Die nächste Frage ist nunmehr: Wie kommen wir dazu, in einem jeden durchsichtigen Körper das Vorhandensein elektrischer Theilchen anzunehmen? Die Antwort giebt uns ein Erscheinungsgebiet, das ebenfalls in die MAXWELL'sche Theorie nur schwer hineinpassen wollte und deshalb fast stets nach der alten Anschauungsweise behandelt wurde. Ich meine die Vorgänge bei der Elektrolyse. Wenn der elektrische

1) POGG. Ann. **145**, 399 u. 520; **147**, 386 u. 525, 1872.
2) Berl. Ber. 1874. 667. POGG. Ann. **154**.
Verhandl. Akad. v. WETENSCH, Amsterdam **18**. Wied. Ann. **9**, 641, 1880.

Strom einen Elektrolyten durchfliesst, so werden nach dem Faraday-schen Gesetz von jeder Stromeinheit chemisch äquivalente Mengen an den Elektroden ausgeschieden; man kann also den Vorgang so auffassen, als wenn jede chemische Valenz eines jeden im Elektrolyten wandernden Ions mit einer ganz bestimmten unveränderlichen positiven oder negativen Elektricitätsmenge verbunden sei.

In einer zum Gedächtniss M. Faraday's im Jahre 1881 gehaltenen Rede weist H. v. Helmholtz[1]) darauf hin, dass wir aus dem Faraday-schen Gesetz mit Nothwendigkeit auf die Existenz elektrischer Atome schliessen müssen. Da nämlich die geladenen chemischen Atome, von Faraday als Ionen — d. h. die wandernden — bezeichnet, an den Elektroden als neutrale Körper ausgeschieden werden, so muss dort eine Abgabe der Ladungen oder ein theilweiser Austausch gegen Ladungen entgegengesetzten Vorzeichens stattfinden. Während dieses Vorgangs, der ja nicht momentan stattfinden kann, müssen also die Ladungen, wenigstens für eine kurze Zeit, eine selbständige Existenz führen können; was liegt näher, als diese stets gleiche Ladungseinheit einer Valenz als ein Elementarquantum der Elektricität, als ein elektrisches Atom zu betrachten? Und wenn ein neutrales Molecül, etwa NaCl (Chlornatrium), beim Auflösen in Wasser in + geladenes Na und — geladenes Cl zerfällt, so ist das Wahrscheinlichste, dass das Na- und das Cl-Atom jedes seine Ladung schon vorher hatte, und dass diese Ladungen nach aussen bloss deshalb unbemerkbar blieben, weil + und — Ladung gleich gross waren. Denkt man sich nun aber einen Lichtstrahl einen NaCl-Krystall durchsetzen, so müssen die Ladungen, resp. die mit ihnen verbundenen Atome in Schwingungen gerathen und die Lichtbewegung beeinflussen. Die elektrolytischen Valenzladungen sind es also, die wir als die in den durchsichtigen Körpern mitschwingenden elektrischen Theilchen zu betrachten haben (und deren Anziehungskräfte, wie Helmholtz nachwies, jedenfalls auch den weitaus grössten Theil der chemischen Verwandtschaftskräfte ausmachen).

Wenn nun auch, wie vorhin erwähnt, der Grundriss zu dem Gebäude der elektromagnetischen Lichttheorie schon im Jahre 1880 von H. A. Lorentz, ja andeutungsweise noch viel früher von W. Weber gezeichnet worden war, so bedurfte es doch eines vollen Jahrzehnts, bis man, angeregt durch die inzwischen erfolgten Entdeckungen von Heinrich Hertz, begann, die Bausteine zusammenzutragen und zu bearbeiten. In den Jahren 1890—1893 erschien eine Reihe von Arbeiten von F. Richarz[2]), H. Ebert[3]) uud G. Johnston Stoney[4]), welche sich

1) Journ. Chem. Soc. Juni 1881. Vortr. u. Reden 2, 275.

2) Sitz.-Ber. d. Niederrh. Ges. f. Naturk. 47, 113, 1890; 48, 18, 1891; Wied. Ann. 52, 385, 1894.

3 Arch. de Genève (3) 25, 489, 1891; Wied. Ann. 49, 651, 1893.

4) Trans. Roy. Dubl. Soc. (2) 4, 563, 1891.

grossentheils mit dem Mechanismus der Lichtemission leuchtender Dämpfe befassen, und in denen auf Grund der Ergebnisse der kinetischen Gastheorie versucht wird, die Grösse des von v. HELMHOLTZ supponirten elektrischen Elementarquantums, für das STONEY den jetzt allgemein gebräuchlichen Namen Elektron vorschlug, zu bestimmen.

Das Resultat dieser Rechnungen ist insofern von Wichtigkeit, als es uns zeigt, dass die ermittelten Zahlen jedenfalls keine Widersprüche mit anderen Erfahrungen enthalten.

[So zeigte z. B. H. EBERT[1]), dass die Schwingungsamplitude eines Elektrons im leuchtenden Natriumdampf nur ein kleiner Bruchtheil des Moleculardurchmessers zu sein braucht, um eine Strahlung von der durch E. WIEDEMANN[2]) experimentell bestimmten absoluten Intensität zu erregen.]

Der Weg zur Berechnung der im Elektron enthaltenen Elektricitätsmenge ist ein sehr einfacher. Die zur elektrolytischen Ausscheidung von 1 ccm irgend eines einatomigen Gases nöthige Elektricitätsmenge wird dividirt durch die LOSCHMIDT'sche Zahl, d. h. die Zahl der in 1 ccm enthaltenen Gasmolecüle. Bei der Unsicherheit dieser letzteren Zahl kann man nur sagen, dass ein Elektron etwa 10^{-10} (1 : 10 Milliarden) elektrostatische Einheiten enthält. Der Werth dieser Zahl wäre ein sehr problematischer, wenn nicht eine ganze Reihe anderer, von der skizzirten gänzlich verschiedener Methoden, auf die zum Theil noch später einzugehen sein wird, zu ganz ähnlichen Werthen geführt hätte.

Während so dargethan wurde, dass die beobachteten Erscheinungen mit der Annahme schwingender Ionenladungen der Grössenordnung nach verträgfich waren, erschienen unabhängig von einander zwei Arbeiten, durch die die elektromagnetische Lichttheorie zum vollendeten Gebäude wurde. Von diesen Arbeiten beschäftigt sich die eine, von H. v. HELMHOLTZ[3]) herrührend, nur mit der speciellen Frage der Farbenzerstreuung in absorbirenden Medien, die andere, deren Verfasser H. A. LORENTZ[4]) ist, geht bedeutend weiter. Hier wird gezeigt, wie man durch die Annahme mitschwingender geladener Theilchen in den lichtdurchlässigen Körpern auch alle Schwierigkeiten aus dem Wege räumt, die sich einer genügenden Erklärung der Lichtfortpflanzung in bewegten Körpern, z. B. der Aberration des Sternenlichts, entgegenstellten. Die LORENTZ'sche Theorie lässt die MAXWELL'schen Gleichungen für den freien Aether unverändert bestehen. Ein materieller Körper beeinflusst die optischen wie die elektrischen Vorgänge nur durch die in

1) Arch. d. Genève (3) **25**, 489, 1891.
2) Wied. Ann. **37**, 177, 248, 1889.
3) WIED. Ann. **48**, 389, 1893.
4) Arch. néerl 25. In Buchform: Leiden, E. J. BRILL. 1892.

in ihm vorhandenen beweglichen Ladungen, während in dem die Zwischenräume erfüllenden Aether Alles unverändert bleibt. Eine „Dielektricitätsconstante", wie bei MAXWELL, giebt es also als Grundbegriff bei LORENTZ nicht mehr. Sie wird hier zu einem abgeleiteten Begriff; und man sieht auch unmittelbar, dass sie für schnelle Schwingungen, bei denen die Trägheit der schwingenden Ladungen in Betracht kommt, gar keine Bedeutung mehr hat. Dasselbe gilt mutatis mutandis auch für die Magnetisirungsconstante.

Es hätte bei der Leichtigkeit, mit der die LORENTZ'sche Theorie allein schon die Dispersions- und Aberrationserscheinungen erklärt, kaum noch eines directen Beweises ihrer Richtigkeit bedurft. Gleichwohl sollte auch dieser nicht ausbleiben.

Im Jahre 1896 entdeckte ein Schüler LORENTZ's, P. ZEEMAN [1]), eine Erscheinung, deren Existenz schon FARADAY (1862) vergeblich gesucht hatte:

Bringt man einen leuchtenden Dampf, etwa eine Na-Flamme, in ein starkes Magnetfeld, so zeigen die Spectrallinien des Dampfes eigenthümliche Veränderungen, je nach der Sehrichtung im Wesentlichen in einer Verdoppelung oder Verdreifachung bestehend; Aenderungen, die sich auf Grund der LORENTZ'schen Theorie völlig voraussagen lassen.

Das ZEEMAN'sche Phänomen erlaubte es ferner, die mit den schwingenden Ladungen verbundene träge Masse zu bestimmen; und da ergab sich ein Resultat, das ein wenig frappant ist: das schwingende Elektron ist stets negativ geladen, während das positive festliegt; das Verhältniss von Ladung zu Masse beträgt 17 Millionen E. M. E.[2]) pro Gramm; da nun ein Gramm Wasserstoff, d. h. eine Grammvalenz, nur 9650 E. M. E. enthält, so folgt daraus, dass die mit dem schwingenden Elektron verbundene Masse nur etwa den zweitausendsten Theil eines Wasserstoffatoms beträgt. Die anfänglich meist stillschweigend eingeführte Annahme, dass das ganze Ion, d. h. chemisches Atom plus Valenzladung, schwinge, muss also fallen gelassen werden; wir müssen vermuthen, dass die Ladung, ebenso wie bei der elektrolytischen Ausscheidung an den Elektroden einer Zersetzungszelle, so auch im lichtemittirenden Molecül eine selbständige Beweglichkeit hat, und dass die beim ZEEMAN-Phänomen in Betracht kommende Masse eben die des Elektrons selbst ist.

Damit wären wir denn zu einer Anschauung gelangt, die sich nahezu mit der alten WEBER'schen Annahme elektrischer Atome deckt, mit dem wichtigen Unterschiede allerdings, dass an Stelle der unmittelbaren Fernwirkung die ver-

1) Verh. d. phys. Ges. Berlin 15, 128, 1896.

2) Abkürzung für: Elektromagnetische Einheiten.

mittelte, durch den Aether fortgepflanzte Wirkung getreten ist, und dass wir jetzt eine ganz bestimmte zahlenmässige Vorstellung von der Grösse der elektrischen Atome besitzen. Und noch ein Unterschied gegen Weber muss hier hervorgehoben werden. Weber nahm auf gut Glück hin in seinen theoretischen Betrachtungen stets die positiven Theilchen als die frei beweglichen an. Wir haben jetzt auf Grund des Zeeman-Effectes stets den negativen diese Stellung einzuräumen. Es hat sich ergeben, dass auch bei allen sonstigen Phänomen, bei denen die Elektronen in Betracht kommen, und von denen wir noch einige nachher werden kennen lernen, stets das negative Elektron als frei beweglich auftritt. Woher diese merkwürdige Einseitigkeit stammt, ob es gelingen wird, einmal auch das freie positive Elektron nachzuweisen, oder ob vielleicht an Stelle der dualistischen eine unitarische Auffassung der Elektricität zu treten habe, darüber müssen wir die Entscheidung der Zukunft überlassen.

Der eben skizzirten Entwicklung des Elektronenbegriffs auf dem Gebiete der Lichttheorie folgte sehr bald eine ganz entsprechende auf einem rein elektrischen Erscheinungsgebiete.

Die elektrischen Entladungen in Gasen hatte man schon lange versucht, als einen der Elektrolyse verwandten Process zu betrachten. W. Giese [1]) ist es, der zuerst dieser Hypothese durch Untersuchung der Leitung in Flammengasen eine gewichtige Stütze verlieh und auch versuchte, die Leitung in Metallen durch Wanderung von Ionen zu erklären.

Vor Allem waren es aber die sogen. Kathodenstrahlen, denen man, zum Theil in Folge der zu Ende 1895 erfolgten Entdeckung der Röntgenstrahlen, jetzt wieder die grösste Aufmerksamkeit zuwandte. — Plücker [2]) und Hittorf [3]) haben zuerst die eigenthümliche grüne Fluorescenz der Glaswände in sehr stark evacuirten Entladungsröhren genauer studirt. Im Laufe weiterer Untersuchungen, bei denen sich namentlich E. Goldstein [4]) sehr verdient gemacht hat, zeigte sich, dass es sich hierbei um eine eigenthümliche Strahlenart handeln müsse, die von der negativen Elektrode, der Kathode der Röhre, ausgehe, und für die Goldstein deshalb den Namen „Kathodenstrahlen" vorschlug. Das Verhalten dieser Strahlen im Magnetfelde, ihre Wärmewirkungen, ihre vermeintlichen mechanischen Wirkungen versuchte Crookes [5]) durch die Annahme zu erklären, diese Strahlen beständen aus Gasmolecülen, die, an der Kathode negativ geladen, von dieser wie beim elektrischen

1) Wied. Ann. **17**, 1, 236 519, 1882; **37**, 576, 1889; **38**, 403, 1889.
2) Pogg. Ann. **105**, 15, 1858.
3) Pogg. Ann. **136**, 1, 1869.
4) Ueber eine neue Art elektr. Abstossung. Berlin 1880.
5) Strahlende Materie oder der 4. Aggregatzustand. Leipzig 1882.

Kugeltanz abgestossen und in den Röhrenraum hineingeschleudert würden. Es liessen sich auch thatsächlich die meisten beobachteten Erscheinungen durch diese Hypothese ganz leidlich deuten.

Genauere Untersuchungen, namentlich zahlenmässige Prüfungen erwiesen jedoch sehr bald die Unhaltbarkeit der Crookes'schen Hypothese, wenigstens in ihrer ursprünglichen Form. Leider hat man dabei, namentlich in Deutschland, das Kind mit dem Bade ausgeschüttet; man hat die ganze Hypothese verworfen, weil die ganz specielle Vorstellung, dass es sich um durch Contact geladene Molecüle handele, sich als falsch erwies. Aber man war nicht im Stande, etwas Besseres an die Stelle zu setzen; je mehr Thatsachenmaterial angehäuft wurde, desto räthselhafter wurden die Kathodenstrahlen, und schliesslich kam es so weit, dass es fast als eines anständigen Physikers unwürdig galt, sich mit diesen einer quantitativen und theoretischen Behandlung so unzugänglichen Erscheinungen zu beschäftigen. Da kam plötzlich, von allem Räthselhaften das Räthselhafte: die Entdeckung der X-Strahlen durch Röntgen und damit ein neuer Sporn, die Lösung der vielen Fragen in Angriff zu nehmen. Die anfgewandte Mühe sollte bald von Erfolg gekrönt werden.

Die Untersuchungen von E. Wiechert[1]), W. Kaufmann und E. Aschkinass[2]), W. Kaufmann[3]), J. J. Thomson[4]), W. Wien[5]), Ph. Lenard[6]), Th. des Coudres[7]) ergaben übereinstimmend, dass es nur einer Umänderung der Crookes'schen Hypothese bedürfe, um zu einer widerspruchsfreien Erklärung fast aller Erscheinungen zu gelangen: Man braucht die Kathodenstrahlen bloss als geladene Massentheilchen zu betrachten, die viel kleiner sind, als die gewöhnlichen Atome. Eine ganze Reihe von messbaren Eigenschaften der Kathodenstrahlen ermöglicht es, zu bestimmen, wie gross bei diesen Theilchen die Ladung pro Grammmasse ist. Das Resultat war zwar bei verschiedenen Beobachtern etwas verschieden, es schwankt zwischen 7 und 19 Millionen El. M. Einheiten pro Gramm; jedenfalls aber liegen diese Zahlen den beim Zeeman-Effect gefundenen so nahe, dass man unbedingt der zuerst wohl von E. Wiechert[8]) ausgesprochenen Hypothese beistimmen kann. dass wir es in beiden Fällen mit denselben Theilchen, nämlich den

---

1) Sitz.-Ber. d. phys.-ökon. Gesellsch. Königsberg 1897. S. 1; Naturwiss. Rundsch. Mai 1897; Gött. gel. Nachr. 1898. S. 260.

2) Wied. Ann. **62**, 588, 1897.

3) Wied. Ann. **61**, 544, 1897; **62**, 596, 1897; **65**, 431, 1898; **66**, 649, 1898.

4) Phil. Mag. (5) **44**, 293, 1897.

5) Verhdl. d. physik. Ges. Berlin **16**, 165, 1897.

6) Wied. Ann. **64**, 279, 1898; **65**, 504, 1898.

7) Verhdl. d. physik. Ges. Berl. **17**, 17, 1898.

8) Göttinger Nachrichten 1898. S. 1.

Elektronen, zu thun haben. Wir haben also in den Kathodenstrahlen die Elektronen, die in den optischen Erscheinungen ein ziemlich verborgenes Dasein führen, so zu sagen leibhaftig vor uns.

In einfacher Weise liess sich jetzt eine Reihe von Folgeerscheinungen erklären. Ein solches mit ungeheurer Geschwindigkeit, nach directen Messungen Wiechert's[1]) je nach der angewandten Kraft mit $^1/_5$ bis $^1/_3$ der Lichtgeschwindigkeit, fliegendes Elektron muss, wenn es auf einen festen Körper aufprallt, nothwendig eine explosionsartige elektrische Welle in den Raum hinaussenden, genau wie ein aufschlagendes Projectil eine Schallwelle; wir haben triftige Gründe zu der Annahme, dass die Röntgenstrahlen solche Wellen seien. Weiter, wenn die Elektronen aus der Oberfläche der Kathode herausfliegen, so müssen sie auch schon in ihrem Innern sich an die Oberfläche heranbewegt haben, d. h. die elektrische Leitung im Metall besteht wohl auch in einer Wanderung von Elektronen. Während also im flüssigen Elektrolyten das Elektron stets an ein materielles Atom gebunden als „Ion“ erscheint, haben wir es im Metall mit frei wandernden Elektronen zu thun. Diese Elektronentheorie der Metalle, als deren ersten Urheber wir ja auch schon W. Weber zu betrachten haben, ist neuerdings durch E. Riecke[2]) und P. Drude[3]) mathematisch so weit durchgearbeitet worden, dass sie eine Prüfung an der Hand der Erfahrung gestattet; es ergab sich namentlich für das Verhältniss zwischen elektrischer und Wärmeleitung der Metalle eine Zahl, die mit den Beobachtungen auf wenige Procent genau übereinstimmt; auch das optische Verhalten der Metalle scheint, soweit die Beobachtungen reichen, mit dieser Theorie in guter Uebereinstimmung zu stehen, und von Ph. Lenard[4]) ist gezeigt worden, dass durch Bestrahlung einer Metallfläche mit ultraviolettem Lichte die Elektronen des Metalls in so starkes Mitschwingen versetzt werden können, dass sie mit grosser Geschwindigkeit von der Oberfläche fortfliegen und dann ein ganz ähnliches Verhalten zeigen, wie die gewöhnlichen, durch Entladungen erzeugten Kathodenstrahlen.[5])

Betrachten wir endlich die Leitung in einem beliebigen Gase, das wir durch Bestrahlung mit Röntgenstrahlen oder ultraviolettem Licht, oder auch durch starke Erhitzung leitend gemacht haben, so zeigt sich auch hier, dass eine einwandfreie Erklärung der zahlenmässigen Resultate, wie sie namentlich von J. J. Thomson und seinen Schülern erhalten

1) Göttinger Nachrichten 1898. S. 260.

2) Wied. Ann. **66**, 353, 545, 1199, 1898.

3) Drude's Ann. **1**, 566, 1900; **3**, 369, 1900.

4) Wiener Ber. **108** (IIa), 1649, 1899.

5) Ueber ein ganz analoges Phänomen bei Bestrahlung einer Metallfläche mit Röntgenstrahlen s. E. Dorn, Arch. néerl. 1900, S. 595 (Lorentz-Jubelband).

worden sind, nur unter der Annahme wandernder Theilchen im Gase möglich ist; aus gewissen Unterschieden im Verhalten der positiven und negativen Theilchen bei diesen Vorgängen scheint hervorzugehen, dass die negativen Theilchen hauptsächlich freie Elektronen sind, von denen jedoch die meisten nach kurzer Wanderung von Gasmolecülen aufgefangen werden und, durch diese beschwert, einen grossen Theil ihrer ursprünglichen Beweglichkeit verlieren. Die positiven Theilchen bestehen dann aus dem nach Abspaltung eines negativen Elektrons vom Molecül noch übrig bleibenden Rest. Die soeben skizzirte Anschauungsweise beseitigt völlig einen Einwand, durch den man früher manchmal die Ionentheorie der leitenden Gase zu widerlegen glaubte. Wie kann, so sagte man, ein einatomiges Gas, wie z. B. Quecksilberdampf, sich in Ionen dissociiren? In elektrolytische Ionen allerdings nicht, wohl aber in ein positiv geladenes Atom und ein negatives Elektron. Beide zusammen bilden erst das neutrale einatomige Molecül. Durch Beobachtung leitender Gase ist es sogar J. J. THOMSON[1]) gelungen, die absolute Grösse der Ladung eines einzelnen Ions direct zu messen, wobei sich eine ganz gute Uebereinstimmung mit dem früher besprochenen Werthe des Elementarquantums ergab. Fügen wir noch hinzu, dass neuerdings noch auf einem dritten, völlig unabhängigen Wege, aus den Strahlungsgesetzen des sogen. „schwarzen Körpers“ von M. PLANCK[2]) ein nahezu gleich grosser Werth des Elektrons gefunden worden ist.

Ueberall, in sämmtlichen Aggregatzuständen, also spielen die Elektronen bei den elektrischen und optischen Vorgängen ihre wichtige Rolle; sie sind die kleinsten bisher bekannten Bestandtheile unserer sichtbaren Welt; ihr Auftreten auch bei Abwesenheit äusserer elektrischer oder optischer Einwirkungen, d. h. der directe Nachweis ihrer ständigen Existenz, würde gleichsam den Schlussstein in dem logischen Gebäude bilden, dessen Entstehung ich versucht habe, vor Ihnen aufzuführen; auch nach diesem Schlussstein brauchen wir nicht lange zu suchen.

Kurz nach der Entdeckung der RÖNTGEN'schen X-Strahlen fand BECQUEREL[3]), dass Uranverbindungen dauernd, ohne äussere Einwirkung, eine Strahlenart aussenden, die mit den Röntgenstrahlen grosse Aehnlichkeit hat, und G. C. SCHMIDT[4]) zeigte später, dass auch Thoriumverbindungen ähnliche Strahlen aussenden. Weitere Untersuchungen, namentlich seitens des Physikerpaares CURIE[5]), ergaben, dass diese Strahlen nicht von dem Uran selbst ausgingen, sondern von gewissen

1) Phil. Mag. (5) **46**, 528, 1898.
2) DRUDE's Ann. **4**, 564, 1901.
3) Compt. rend. **122**, 420, 1896.
4) Wied. Ann. **65**, 141, 1898.
5) Compt. rend. **127**, 175, 1898; **129**, 714, 823, 1899.

Beimengungen, die durch ein äusserst mühseliges Fractionirungsverfahren vom Uran getrennt und schliesslich so concentrirt werden können, dass sie etwa 50000 mal stärker strahlen als das Uran. Es scheint, dass in dem Endproduct, das im Wesentlichen aus einem Baryumsalze besteht, ein neues Element enthalten sei, dem man den Namen Radium — das Strahlende — gegeben hat, womit freilich noch keineswegs bewiesen ist, dass gerade dieses neue Element der Ausgangspunkt der Strahlung ist. Von diesen BECQUEREL-Strahlen nun, die man Anfangs für nahe verwandt mit den Röntgenstrahlen hielt, fand GIESEL [1]) und bald darauf BECQUEREL sowie ST. MEYER und SCHWEIDLER, dass sie magnetisch ablenkbar und somit viel eher mit den Kathodenstrahlen in Parallele zu stellen seien. Nachdem von DORN [2]) und BECQUEREL auch die elektrische Ablenkbarkeit festgestellt und, wenn auch nur roh, gemessen war, konnte man für diese Strahlen auch die Geschwindigkeit und die Ladung pro Maasseinheit berechnen, wobei sich der Grössenordnung nach Uebereinstimmung mit den bei Kathodenstrahlen erhaltenen Zahlen ergab. Aus neuesten genaueren Versuchen des Referenten scheint sogar eine völlige Uebereinstimmung hervorzugehen.

Wir haben somit in den Radiumsalzen eine Körperklasse, die im Stande ist, von selbst, ohne jede äussere Einwirkung, Elektronen auszuschleudern. Wir stehen bezüglich der Energiequelle sowie des ganzen Mechanismus dieser Erscheinung noch vor einem völligen Räthsel, zumal es sich hier um Geschwindigkeiten zu handeln scheint, die fast gleich der Lichtgeschwindigkeit sind, Geschwindigkeiten, die wir durch elektrische Kräfte, d. h. bei wirklichen Kathodenstrahlen, sicher nur nach Ueberwindung der enormsten Schwierigkeiten erreichen können.[3]) Dicke Bleiplatten werden bei dieser Geschwindigkeit ohne merklichen Energieverlust durchstrahlt. Gerade das Verhalten der Elektronen bei solch' ungeheuren Geschwindigkeiten scheint aber geeignet, über die tiefgehendsten Fragen nach der Constitution der Elektronen sowie der Atome Aufschluss zu geben. Vor allen Dingen lässt sich durch directe Messung entscheiden, ob die Masse der Elektronen vielleicht nur „scheinbare", durch elektrodynamische Wirkungen vorgetäuscht ist.[4]). Die bislang angestellten Versuche zeigen, dass jedenfalls ein beträchtlicher Bruchtheil „scheinbare" Masse vorhanden ist.

Und hiermit kommen wir zu einer Frage, die tief hineingreift in den Bau der Materie überhaupt:

Wenn ein elektrisches Atom bloss vermöge seiner elektrodynamischen Eigenschaften sich genau so verhält, wie ein träges Massentheilchen, ist es dann nicht möglich, überhaupt alle Massen als nur schein-

1) Wied. Ann. **69**, 91, 834, 1899; Physik. Ztschr. **1**, 16, 1899.
2) Abh. d. naturf. Ges. Halle **22**, 1900.
3) DES COUDRES, Arch. néerl. (LORENTZ-Jubelband 1900, S. 653).
4) DES COUDRES, Verhdl. d. phys. Ges. Berlin **17**, 17 u. 60, 1898.

bare zu betrachten? Können wir nicht statt all' der unfruchtbar gebliebenen Versuche, die elektrischen Erscheinungen mechanisch zu erklären, nun umgekehrt versuchen, die Mechanik auf elektrische Vorgänge zurückzuführen? Wir kommen hier wieder auf Anschauungen zurück, die schon von Zöllner vor 30 Jahren cultivirt wurden und neuerdings von H. A. Lorentz, J. J. Thomson und W. Wien wieder aufgenommen und verbessert worden sind: Wenn alle materiellen Atome aus einem Conglomerat von Elektronen bestehen, dann ergiebt sich ihre Trägheit ganz von selbst.

Zur Erklärung der Gravitation muss noch angenommen werden, dass die Anziehung zwischen ungleichartigen Ladungen etwas grösser sei, als die Abstossung zwischen gleichartigen. Ein Experimentum crucis für diese Anschauung wäre der Nachweis einer zeitlichen Fortpflanzung der Gravitation, resp. ihrer Abhängigkeit nicht bloss von der Lage, sondern auch von der Geschwindigkeit der gravitirenden Körper.[1])

Die Elektronen wären dann also die von so Manchem gesuchten „Uratome", durch deren verschiedenartige Gruppirung die chemischen Elemente gebildet werden; der alte Alchimistentraum von der Umwandlung der Elemente wäre dann der Wirklichkeit bedeutend näher gerückt. Man könnte etwa annehmen, dass unter den unzähligen möglichen Gruppirungen der Elektronen nur eine relativ beschränkte Anzahl genügend stabil ist, um in grösseren Mengen vorzukommen; diese stabilen Gruppirungen wären dann die uns bekannten chemischen Elemente. Durch eine mathematische Behandlung dieser Fragen wird es vielleicht einmal gelingen, die relative Häufigkeit der Elemente als Function ihres Atomgewichts darzustellen und vielleicht auch noch manches andere Räthsel des periodischen Systems der Elemente zu lösen.

Werfen wir noch einen Blick von der Erde fort in den Weltraum hinaus, so sehen wir auch dort so manche Erscheinung, auf die man nicht ohne Aussicht auf Erfolg versucht hat, die Elektronentheorie anzuwenden; die Sonnencorona, die Kometenschweife und die Nordlichter gehören hierher.

Mag auch noch Manches von dem zuletzt Gesagten etwas zu hypothetisch erscheinen, so viel dürfte wohl aus dem Gesagten klar hervorgehen, dass die Elektronen, diese winzigen Theilchen, deren Grösse sich zu der eines Bacillus etwa verhält, wie diejenige eines Bacillus zur gesammten Erdkugel, und deren Eigenschaften wir doch mit grösster Präcision zu messen vermögen, dass diese Elektronen einen der wichtigsten Bestandtheile unseres gesammten Weltgebäudes bilden.

---

1) W. Wien, Arch. néerl (Lorentz-Jubelband 1900, S. 101.)

2.

Ueber die Anwendung der Lehre von den Gasionen auf die Erscheinungen der atmosphärischen Elektricität.

Von

H. Geitel-Wolfenbüttel.

Es ist eine befremdende Erscheinung, dass das Problem der atmosphärischen Elektricität, das älteste, das auf dem Gebiete der elektrischen Forschung sich darbot, trotz aller in anderen Richtungen erzielter Erfolge noch immer nicht als befriedigend gelöst betrachtet werden kann. Seit FRANKLIN's Tagen, d. h. seit anderthalb Jahrhunderten, ist die elektrische Natur des Gewitters bekannt, fast ebenso lange die Existenz des normalen elektrischen Feldes über der Erdoberfläche; welche der uns geläufigen Processe aber im ersten Falle die Scheidung der grossen Elektricitätsmengen bewirken, die im Blitze sich ausgleichen, im zweiten die Potentialdifferenz zwischen dem Erdkörper und der Atmosphäre aufrecht erhalten, darüber lassen sich auch jetzt nur Annahmen von gewisser Wahrscheinlichkeit vorbringen.

Auf das Deutlichste wird dieser unsichere Zustand dadurch gekennzeichnet, dass jedesmal, sobald es irgend möglich schien, neu erworbene Kenntnisse der allgemeinen Elektrik auf unser Gebiet anzuwenden, man damit nicht zögerte. Die unipolare Induction des Erdmagneten, photoelektrische Einflüsse des Sonnenlichts, thermoelektrische Processe in der Atmosphäre und Kathodenstrahlen sind neben anderen Erklärungsversuchen herangezogen, für die eine oder andere Seite der Aufgabe auch nicht ohne gewissen Erfolg.

Wiederum ist durch einen für die gesammte Elektricitätslehre bedeutungsvollen Fortschritt, die Erkenntniss des Mechanismus der Gasentladungen, ein, wie es scheint, kräftiger Hebel in unsere Hand gelegt, der die Bahn für erfolgreichere Forschung auch auf diesem Sondergebiete frei zu machen verspricht.

Es ist meinem Collegen ELSTER und mir die ehrenvolle Aufforderung zu Theil geworden, dass einer von uns über die Anwendbarkeit der Elektronentheorie auf die luftelektrischen Erscheinungen einen Ueberblick geben möge; es wird zweckmässig sein, zuvor die wesentlichsten

Thatsachen aufzuführen, die unter dieser Bezeichnung zusammengefasst werden.

Um mit dem Bekanntesten und daher Nächstliegenden zu beginnen, gehen wir von den elektrischen Vorgängen aus, die den Fall der Niederschläge begleiten, und die ihren Höhepunkt bekanntlich in den Gewittern erreichen.

Bei allen Niederschlagsfällen verrathen die am Erdboden aufgestellten elektrischen Sammel- und Beobachtungsapparate das Vorhandensein starker, im höchsten Grade unbeständiger Spannungsdifferenzen zwischen der Erde und der Atmosphäre. Die freien Elektricitätsmengen, die diese Potentialunterschiede hervorrufen, haften dabei anscheinend an den Wolken, denen die Niederschläge entfallen. Je plötzlicher der Process der Condensation des Wasserdampfs abläuft, um so kräftiger werden im Allgemeinen die elektrischen Anzeichen; sie sind am geringsten, oft kaum merklich, in ausgedehnten Gebieten spärlichen Niederschlages, sehr lebhaft dagegen bei den sogenannten Böen, die deshalb, auch wenn sie ohne Blitz und Donner verlaufen, den eigentlichen Gewittern in elektrischer Beziehung verwandt sind.

Wie directe Beobachtungen — durch Auffangen der Niederschläge in einer gegen äussere Kräfte geschützten isolirten Schale — gezeigt haben,[1]) ist ein Theil der freien Elektricität, und zwar kann diese von positivem oder negativem Vorzeichen sein, an die Niederschlagstheilchen selbst gebunden und wird von diesen zur Erde geführt. Keinesfalls geben die Beobachtungen einen Anhalt für die verbreitete Auffassung, dass der elektrische Process im Gewitter auf einer blossen Ausgleichung schon vorher existirender Spannungsdifferenzen in der Atmosphäre beruhe, vielmehr muss die Elektricitätsentwicklung in einer Verbindung mit der Bildung und der Bewegung der Niederschlagstheilchen stehen, die Gewitterwolke muss in irgend einer Weise elektromotorisch wirken.

Das Räthsel der Gewitterelektricität wird gelöst sein, sobald die Natur jener elektromotorischen Kraft festgestellt ist.

Von weit regelmässigerem Verlaufe und der Forschung deshalb zugänglicher sind diejenigen Erscheinungen, die auf der auch bei Abwesenheit von Niederschlägen bestehenden Potentialdifferenz zwischen dem Erdkörper und der Atmosphäre beruhen. Es ist durch zahlreiche Beobachtungen an Orten, die über den ganzen Erdball zerstreut sind, nachgewiesen worden, dass normaler Weise bei heiterem Wetter ein elektrisches Feld über der Erdoberfläche besteht, dessen Niveauflächen der letzteren parallel laufen, und in dem die Potentialwerthe mit steigen-

1) J. Elster u. H. Geitel, Wien. Ber. **99.** IIa. S. 421. 1890; ferner Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity. **4.** pag. 15. 1899.

der Höhe selbst zunehmen. Hierdurch ist schon mit ausgedrückt, dass unter diesen Verhältnissen die der Atmosphäre zugewandte leitende Erdoberfläche negativ elektrisiert ist.

Denkt man sich nun, dass für irgend einen Zeitpunkt auf der ganzen Erde kein Niederschlag fiele, so müsste die gesammte Erdkugel negativ elektrisch geladen sein. Ganz abgesehen davon, ob jene Vorauszetzung jemals zutreffen kann, führt sie zu der fruchtbaren Fragestellung: Hat die Atmosphäre eine der des Erdkörpers gleiche und dem Vorzeichen nach ihr entgegengesetzte Ladung, so dass die Erde mit Einschluss der Atmosphäre, d. h. als Planet betrachtet, nach aussen elektrisch neutral ist, oder erstrecken sich die Kraftlinien des negativ geladenen Erdkörpers über die Grenzen der Atmosphäre in den Weltraum hinein? Die in neuerer Zeit vom Korbe eines Freiballons[1]) aus unternommenen elektrischen Beobachtungen haben nun dargethan, dass bei heiterem Wetter die Atmosphäre positiv geladene Massen enthält. Dabei scheint die Gesammtladung der Luft bis zu einer Höhe von etwa 5000 Metern der negativen der Erdoberfläche an Grösse nahezu gleich zu sein, so dass ein zwingender Grund nicht besteht, der Erde als Weltkörper eine merkliche Eigenladung und daher auch Fernkräfte über das Gebiet ihrer Atmosphäre hinaus zuzuschreiben.

Das soeben kurz gekennzeichnete elektrische Feld über der Erdoberfläche erweist sich nun sowohl temporär als local veränderlich. Zunächst ist es einer zweifachen, nämlich einer täglichen und einer jährlichen Periode unterworfen.

Die letztere zeigt an Orten mit deutlichem Wechsel der Jahreszeiten die grössten Potentialwerthe in den Wintermonaten und das Minimum im Sommer, die tägliche Periode ist stark von örtlichen Verschiedenheiten abhängig.

Legt man nach Exner's rationellem Vorgang die Feldstärke über einem ebenen Stücke der Erdoberfläche als Norm zu Grunde, so fallen, wie schon aus elcktrostatischen Principien folgt, die auf der Sohle von Thälern gemessenen Beträge kleiner, die auf Berggipfeln beobachteten grösser als die normalen aus; dabei findet sich die zeitliche Veränderlichkeit im Thale beträchtlicher, auf Bergen oder Höhenstationen überhaupt geringer als in der Ebene.[2])

Nachdem wir so in dem Verhalten der Luftelektricität in Niederschlagsgebieten und bei heiterem Wetter die beiden Extreme besprochen haben, erübrigt es noch, das Zwischenstadium zu kennzeichnen. Unter

1) Vgl. insbesondere Börnstein, Verh. der physik. Gesellschaft in Berlin. **13,** S. 35. 1894. Le Cadet, Étude du champ électrique de l'atmosphère. Paris 1898 u. J. Tuma, Wien. Ber. **108,** Abth. IIa, S. 227. 1899.

2) F. Exner, Wien. Ber. **97,** Abth. IIa, S. 300 and ibid. **105,** Abth. IIa, S. 371. 1901. J. Elster u. H. Geitel, Wien. Ber. **102,** Abth. IIa, S. 1295 und desgl. **104,** S. 37. 1893. u. 1895. Chauveau, C. R. **131,** pag. 1264 und 1298. 1900.

einer — nicht regnenden — Wolkendecke ist im Allgemeinen das elektrische Feld von derselben Art, wie bei wolkenlosem Himmel, nur von geringerer Intensität. Erreicht indessen die Wolkendecke, wie in den Herbst- und Winternebeln unseres Klimas, auch im Tieflande den Erdboden, so pflegen sehr bedeutende Feldstärken aufzutreten, der Bodennebel verhält sich, als sei er in abnorm hohem Grade positiv geladen.

Mehr als eine eng zusammengepresste Uebersicht der Grundthatsachen zu geben, ist an dieser Stelle nicht möglich, eben so wenig wie die kritische Würdigung der zahlreichen hierher gehörigen theoretischen Arbeiten. Wir wenden uns vielmehr zu der eigentlichen Aufgabe, darzulegen, wie jene Grundthatsachen zu ordnen sind unter der Annahme der Existenz elektrischer Ionen in der Atmosphäre, und beginnen mit der Angabe des Weges, der zu dieser Vorstellung geführt hat.

Es war die klare Erkenntniss eines Paradoxons, eines scheinbaren Widerspruchs in den Erfahrungen, durch welche ein neuer Gedankengang eingeleitet wurde.

Ein jeder der Berührung mit der Luft ausgesetzter elektrisirter Körper verliert im Laufe der Zeit mehr und mehr an seiner Ladung, und zwar ist diese Einbusse, wie schon Coulomb bewiesen hat, bei zweckmässiger Versuchsanordnung nur zum allergeringsten Theile durch Abfluss längs der isolirenden Träger zu erklären. Die Luft selbst, und zwar zunächst mit Einschluss aller Beimengungen und in ihr schwebender Fremdkörper betrachtet, muss daher ein gewisses elektrisches Leitvermögen haben (das Wort im allgemeinsten Sinne verstanden). Da nun die Erdoberfläche bei heiterem Himmel negativ geladen ist, so folgt ohne Weiteres, dass auch diese Ladung allmählich durch Leitung in die darüber lagernde Atmosphäre übergehen wird. Hierdurch müsste aber das elektrische Feld über der Erdoberfläche geringer und zwar schon in wenigen Stunden unmessbar klein werden. Eine dauernde Existenz jenes Feldes, wie sie doch durch die Beobachtungen festgestellt ist, würde demnach mit jener ebenfalls sicher constatirten Leitfähigkeit der Luft unverträglich sein.

Ein Ausweg aus dieser Schwierigkeit erscheint nur möglich unter der weiteren Annahme, dass, im Ganzen genommen, in dem Maasse, wie die Ladung der Erdoberfläche durch Uebergang in die Luft verschwindet, sie auf andere, noch unbekannte Weise wieder ersetzt wird. Die Frage, wie die Potentialdifferenz zwischen dem Erdkörper und der Atmosphäre trotz unausgesetzten Elektricitätsflusses von der Erdoberfläche aus sich im Ganzen stationär erhält, stellt das Grundproblem für die Erforschung der normalen atmosphärischen Elektricität dar.

Durch besondere Einfachheit gegenüber der genannten Schwierig-

keit zeichnete sich der Gedanke EXNER's [1]) aus, dass der Uebertritt der negativen Erdbodenelektricität in die Luft zugleich mit der Verdampfung des Wassers stattfinde und zwar in der Weise, dass der Wasserdampf selbst diese elektrischen Ladungen mit sich führe und sie dauernd bewahre, und dass bei späterer Condensation das Wasser in der Gestalt von Niederschlag eben dieselbe Ladung der Erde zurückerstatte, die es ihr bei der Verdampfung entzogen habe. Indessen entspricht die zu Grunde liegende Annahme, nach der die Elektricitätszerstreuung in der Luft mit der Verdampfung des Wassers eng verkettet wird, den Thatsachen nicht, und trotz vieler durch die EXNER'sche Theorie erzielter Erfolge bleiben die fundamentalen Schwierigkeiten ungehoben.

Es ist daher von grossem Nutzen gewesen, dass LINSS [2]) jenes Grundproblem klar erkannte und nachdrücklich hervorhob, zugleich auch die Erforschung des Elektricitätsabflusses in der freien Atmosphäre, der sogenannten elektrischen Zerstreuung empfahl und selbst anbahnte.

Nachdem die technischen Schwierigkeiten der Aufgabe überwunden waren, den Elektricitätsverlust eines geladenen Körpers, der von der Berührung mit der Luft herrührt, von dem Verluste über den isolirenden Träger mit Sicherheit zu trennen [3]), verriethen schon die ersten Messungen der Elektricitätszerstreuung in der freien Atmosphäre, dass die allgemein verbreitete Ansicht von der Natur dieses Vorgangs einer Aenderung bedürfte. Hiernach sollte nämlich die Luft in absolut reinem Zustande ein vollkommener Isolator sein und die Elektricitätszerstreuung als eine Art von scheinbarer Leitung allein durch den nie völlig fehlenden Staub bewirkt werden, der nach seiner Berührung mit dem elektrisirten Körper einen Theil von dessen Ladung entführe.

Im Gegensatze zu dieser Anschauung zeigte sich, dass die Luft um so besser leitet, je durchsichtiger, d. h. je freier von suspendirten Fremdkörpern sie ist. Alle anderen meteorologischen Elemente, die absolute und relative Feuchtigkeit, die Temperatur, ja selbst die Windstärke sind nicht von so durchschlagendem Einfluss auf die Elektricitätszerstreuung, als die direct aus der Sichtbarkeit verschieden entfernter Objecte geschätzte Durchsichtigkeit der Luft.

Diese Wahrnehmung führte zu Messungen des elektrischen Leitvermögens der reinen Gebirgsluft, das sich in den Hochthälern der Alpen während der Sommermonate in der That weit höher als das der Tieflandsluft erwies. [4]) Auch im hohen Norden ist die Elektricitäts-

1) F. EXNER, Wien. Ber. **93**, S. 222. 1886.

2) LINSS, Elektrotechn. Zeitschrift 1890, Heft 38.

3) J. ELSTER u. H. GEITEL, Physikalische Zeitschrift. I, S. 11. 1899.

4) J. ELSTER u. H. GEITEL, Terrestrial Magnetism **4**, pag. 213. 1899 u. DRUDE's Annalen **2**, S. 425. 1900.

zerstreuung, wie PAULSEN[1]) in Island und ELSTER[2]) in Spitzbergen beobachteten, von abnormer Grösse. In der freien Atmosphäre nimmt sie nach den Erfahrungen von EBERT[3]) mit zunehmender Erhebung über der Erdoberfläche zu.

Alle diese Ergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die ungetrübte Luft; tritt Nebelbildung ein, so sinkt der Elektricitätsverlust unter allen Umständen auf sehr kleine Beträge herab.

Eine weitere Erscheinung, die zuerst im Gebirge bemerkt wurde, war die Abhängigkeit der Zerstreuung vom Vorzeichen der Ladung. Während diese im Tieflande und auf der Sohle von Thälern bei geschützt aufgestelltem Apparat für beide Elektricitätsarten durchschnittlich gleich gross gefunden wird, ergiebt sich auf Bergspitzen ein bedeutendes Ueberwiegen der Zerstreuung für negative Elektricität.

Hierdurch ist erwiesen, dass die Luft an solchen Orten nicht elektrisch neutral ist, sondern positiv geladene Massen enthalten muss. Es schien von vorn herein nicht zweifelhaft, das die hohe Intensität des elektrischen Feldes der Erde auf Berggipfeln diese Anomalie bewirkte.

Aus den beiden Thatsachen der Zunahme des Leitvermögens der Luft mit der Abnahme der Zahl der in ihr suspendirten Fremdkörper und der durch die geometrische Gestalt der Erdoberfläche bedingten Abhängigkeit vom Vorzeichen der Ladung hätte allein schon die Unzulänglichkeit der Staubtheorie gefolgert werden können, doch war auf jeden Fall eine experimentelle Nachahmung der natürlichen Erscheinungen wünschenswerth.[4])

Es gelingt nun in der That leicht, in einem grösseren geschlossenen Raume die Elektricitätszerstreuung durch Verbreitung von irgend welchem Rauch, z. B. Salmiaknebeln, fast völlig aufzuheben. In kleineren Gefässen lässt sich durch Expansion von mit Feuchtigkeit gesättigter Luft vorübergehend Nebelbildung hervorrufen; auch hier zeigt sich, wie in der Natur, das Entstehen und Verschwinden des Nebels mit entsprechender Verminderung und Vermehrung der Elektricitätszerstreuung verbunden. Die natürliche Luft verhält sich in dieser Beziehung — abgesehen von dem bei weitem geringeren Betrage ihres Leitvermögens — wie solche, die durch RÖNTGEN- oder BECQUEREL-Strahlen künstlich leitend gemacht ist.

Auch die in dem elektrischen Felde einer Bergspitze beobachtete einseitige Entladung negativer Elektricität lässt sich nachahmen, indem man ein von der Ladung des Versuchskörpers, deren Abnahme man bestimmen will, unabhängiges zweites elektrisches Feld

1) A. PAULSEN, Congrès international de Physique, Paris 1900.
2) J ELSTER, Physik. Zeitschrift. 2, S. 113. 1900.
3) H. EBERT, Sitzungsber. der kgl. bayer. Akad. 30, S. 511. 1900.
4) Vergl. hierzu J. ELSTER u. H. GEITEL, DRUDE'S Annalen, l. c.

herstellt. Am einfachsten geschieht dies dadurch, dass man den gesammten Apparat, der zur Messung der Elektricitätszerstreuung dient, innerhalb eines isolirten, allseitig geschlossenen Käfigs aus Drahtgeflecht anbringt, den man durch eine Accumulatorenbatterie auf beliebige positive oder negative Potentialniveaux laden kann. Alsdann erscheint die Zerstreuung im Drahtkäfig von dem ausserhalb herrschenden Felde abhängig. Bei gleichem Vorzeichen der Ladungen innen und aussen ist die Zerstreuung im Innern wesentlich grösser, als bei entgegengesetztem. Auch dieser Versuch gelingt in gleichem Sinne, nur in stark übertriebenem Maase, sobald man ausserhalb des Drahtkäfigs die Luft — etwa durch eine Flamme — künstlich leitend macht. Man ist auf Grund dieser Erfahrungen und anderer, die wir hier übergehen, da sie keine so nahe Beziehung zur atmosphärischen Elektricität haben, zu der Behauptung berechtigt, dass die natürliche Luft hinsichtlich ihres Leitvermögens im Wesentlichen nur graduelle Unterschiede von solcher zeigt, die auf künstlichem Wege (etwa durch Becquerel-Strahlen) in abnormer Weise leitend gemacht ist. Hiermit ist schon nichts Anderes, als die Annahme der Existenz freier Ionen in der natürlichen Luft ausgesprochen.

Der Vorgang der Elektricitätszerstreuung wäre demnach in der Art aufzufassen, dass die in der Luft normaler Weise in gleicher Anzahl vorhandenen positiven und negativen Ionen in dem Kraftfelde des geladenen Körpers sich bewegen; die gleichnamigen entfernen sich, während die ungleichnamigen mit dem Körper zur Berührung gelangen und seine Ladung allmählich vermindern. Ist die Luft frei von Fremdkörpern, so finden die Ionen bei ihrer Bewegung, von Reibung abgesehen, kein Hinderniss, bei Vorhandensein von Staub irgend welcher Art bleiben sie durch den Antrieb des ein jedes Ion umgebenden Kraftfeldes an solchen Partikelchen hängen, denen sie unterwegs nahe genug kommen, und werden durch den verhältnissmässig sehr grossen Zuwachs an Masse lahm gelegt, die Leitfähigkeit der Luft erscheint in Folge dessen vermindert. Ist neben dem des Versuchskörpers noch ein weiteres elektrisches Feld vorhanden, so wird dies, je nachdem es dem ersteren gleich oder entgegengesetzt gerichtet ist, die entladenden Ionen schon aus grösserer Entfernung heranziehen oder sie zurückstossen. In dem Falle der Elektricitätszerstreuung auf Bergspitzen ist es das natürliche, hier abnorm verstärkte Feld der negativ geladenen Erde, das die Luft mit positiven Ionen erfüllt, also die Zerstreuung negativer Elektricität beschleunigt.

Was nun die Quelle der Ionisirung der Luft anlangt, so könnte man dabei zunächst an äussere Einflüsse denken.

Wie von Lenard [1]) gezeigt ist, bewirken die Strahlen des äussersten

1) P. Lenard, Drude's Ann. 3, S. 298. 1900.

Ultravioletts eine Ionisirung der Luft, indem sie von dieser schon in dünnen Schichten absorbirt werden. Darf man nun annehmen, dass das Sonnenlicht im Weltraume Strahlen dieser Art enthält, so müssten diese beim Eindringen in die Erdatmosphäre unter gleichzeitiger Ionenbildung aufgenommen werden. Dass die höchsten Schichten der Atmosphäre gelegentlich leitend, also ionisirt sein müssen, folgt übrigens auch aus den Leuchtphänomenen, die wir in den Polarlichtern beobachten. Aus diesen höchsten Lagen der Lufthülle könnten die dort gebildeten Ionen durch Diffusion bis zur Erdoberfläche herabgelangen.

Ohne die Möglichkeit derartiger Vorgänge zu leugnen, möchten wir es vorziehen, zunächst die Grenzen der experimentell controlirbaren Erscheinungen nicht zu verlassen, um so mehr, als vor der Hand ein Bedürfniss zu weiter gehenden Annahmen nicht vorliegt.

Die Luft selbst, losgelöst von dem Zusammenhange mit der Atmosphäre, hat nämlich, wie aus dem Verhalten hermetisch abgeschlossener Mengen hervorgeht, die Eigenschaft, eine von der Grösse des abgegrenzten Volumens, dem Drucke und der Temperatur abhängige Ionenmenge in der Zeiteinheit von selbst zu erzeugen, bis ein Gleichgewichtszustand in der Art erreicht wird, dass sich eben so viel Ionen in einer bestimmten Zeit zu neutralen Molecülen wiedervereinigen, als inzwischen neu gebildet werden.[1])

Läge die Quelle der Ionisirung ausserhalb des abschliessenden Gefässes, so müsste die Elektricitätszerstreuung im Innern mit der Zeit sehr schnell abnehmen und schliesslich ganz aufhören, sobald sämmtliche Anfangs vorhandenen Ionen durch die Elektricitätsübertragung verbraucht sind. Im Gegensatze dazu beobachtet man sogar im Laufe mehrerer Tage eine gewisse Zunahme der Zerstreuung, die anzeigt, dass die Ionenbildung im Wachsen begriffen ist. Sehr auffallend ist die enorme Grösse der Zerstreuung, die im Zusammenhang hiermit in Höhlen und weiten Kellern beobachtet wird, die lange Zeit gegen die Aussenluft abgeschlossen waren.[2]) Zum Theil erklärt ie sich durch die grosse Staubreinheit der lange Zeit in Ruhe gewesenen Luft, zum Theil aus dem Fehlen eines elektrischen Feldes in solchen Räumen, so dass ein Verbrauch von Ionen (wie in der freien Atmosphäre) hier nicht eintritt. Aber beide Gründe sind, wie directe Versuche an kleinen Luftmengen gezeigt haben, zur vollständigen Erklärung der Erscheinung nicht ausreichend, die sich in diesem Falle in ganz besonders deutlicher Weise bei Gegenwart radioactiver Substanzen zeigt.[3]) Die hierdurch geweckte Vermuthung, dass auch die reine atmosphärische Luft Spuren von Radio-

1 H. Geitel, Phys. Zeitschrift 2, S. 116. 1900 u. C. T. R. Wilson, Rep. Cambridge Philos. Society. November 1900 und Proc. Royal Society 68, 151. 1901.

2) J. Elster u. H. Geitel, Phys. Zeitschrift 2, S. 560. 1901.

P. Curie und A. Debierne, C. R. 132, 548. 1901 u. C. R. 132, 768. 1901.

activität erkennen lassen werde, hat sich in der Folge bestätigt. Es ist möglich, Körpern von der verschiedensten Beschaffenheit eine vorübergehende, sogenannte inducirte Radioactivität mitzutheilen, indem man sie nur mit negativer Ladung der freien Luft einige Stunden lang aussetzt. Auf diese Weise hatte RUTHERFORD[1]) mit solcher Luft, die über die bekanntlich radioactive Thorerde gestrichen war, die inducirte Strahlung erhalten; es zeigte sich also, dass auch in dieser Beziehung sich die natürliche Luft qualitativ wie die künstlich durch BECQUEREL-Strahlen activirte verhält.[2]) Ob diese geringe eigene Radioactivität der Luft ursprünglich zukommt oder erst vom Erdboden oder den begrenzenden Wänden aus inducirt ist, lässt sich noch nicht mit Sicherheit entscheiden.

Auf jeden Fall darf man schon als Folge dieser Radioactivität der Luft die Eigenschaft zuschreiben, andauernd von selbst eine von Druck und Temperatur abhängige Menge von Ionen in der Volumeneinheit in einer bestimmten Zeit zu erzeugen.

Geht man nun von der Ionisirung der atmosphärischen Luft als einer gegebenen Thatsache aus, so bietet sich von selbst die Frage nach den Folgeerscheinungen dieses Zustandes dar. Man weiss, dass künstlich ionisirte Luft bei Berührung mit Leitern diese im Allgemeinen elektrisch macht. Die Erscheinung wird auf eine verschiedene Wanderungsgeschwindigkeit der beiden Arten von Ionen zurückgeführt, und zwar lassen die bisher bekannten Thatsachen darauf schliessen, dass es die negativen sind, denen im Allgemeinen bei gleichem Antriebe die grössere Beweglichkeit zukommt. So haben, wie zuerst ZELENY[3]) beobachtete, isolirte Körper die Neigung, beim Contact mit Luft, die durch Röntgenstrahlen leitend gemacht ist, sich negativ zu laden. Diese spontane Ladung hat einen bestimmten Grenzwerth, der dann eintritt, wenn das den Körper umgebende elektrische Feld so stark geworden ist, dass es durch die Beschleunigung der positiven Ionen den Unterschied ihrer Beweglichkeit gegen die negativen ausgleicht. Darf man nun voraussetzen, dass auch die Luft der freien Atmosphäre mehr negative als positive Ionen an den leitenden Erdkörper abgiebt — und diese Annahme hat bei der vollständigen qualitativen Uebereinstimmung der elektrischen Eigenschaften der natürlichen und der künstlich ionisirten Luft nichts allzu Gewagtes — so wäre die negative Eigenladung der Erde und die Existenz des normalen elektrischen Feldes über der Erdoberfläche von selbst gegeben.

Die Grenze der Erdladung wird wiederum erreicht, sobald jenes

---

1) E. RUTHERFORD, Phil. Mag. 49, pag. 1 u. 161. 1900.
2) J. ELSTER u. H. GEITEL, Physik. Zeitschrift 2, S. 590. 1901.
3) J. ZELENY, Phil. Mag. 46, pag. 137. 1898.

elektrische Feld, das die Folge eben dieser Ladung ist, den trägeren positiven Ionen eine soweit gesteigerte Geschwindigkeit mittheilt, dass die freiwillige Zuströmung der negativen Ionen neutralisirt wird. Man kann in dieser Betrachtung noch etwas weiter gehen und behaupte dass die Einwanderung der negativen Ionen daher vorzugsweise an solchen Orten stattfinden wird, die zwar mit der Erde in leitender Verbindung, aber ausserhalb des Wirkungsbereiches ihres elektrischen Feldes stehen. Hierzu gehört insbesondere die innere Oberfläche sämmtlicher mit Vegetation bedeckter Gebiete.

Man erkennt, mit welcher Einfachheit sich das Problem der normalen atmosphärischen Elektricität zu lösen scheint:

An allen geschützt liegenden Orten strömt die negative Elektricität unausgesetzt aus der Luft der Erde zu, um an allen frei gelegenen, insbesondere den Berggipfeln, durch die in dem so entstandenen Felde wandernden positiven Ionen neutralisirt zu werden; dabei ist die gesammte Ladung der Erde nach aussen gleich Null, indem die negative des eigentlichen leitenden Erdkörpers der positiven in der Atmosphäre enthaltenen complementär ist.

Da die negative Elektricität, einmal auf die Erde übergegangen, sich auf deren leitender Oberfläche überallhin momentan verbreiten kann, so geschieht ihr Ersatz im Ganzen in stationärer Weise so, dass die gesammte Ladung des Erdkörpers constant bleibt.

Dagegen ist die an einem bestimmten Orte zu beobachtende Feldstärke, d. h. das luftelektrische Potentialgefälle, von localen Verhältnissen abhängig, nämlich einerseits von der Gestalt der Erdoberfläche, andererseits von der Menge der freien positiven Ionen in der darüber lagernden Luft. Auf Bergspitzen ist es, wie ja schon Anfangs bemerkt wurde, in Folge der dort stärkeren Dichtigkeit der negativen Erdelektricität grösser als in der Ebene oder gar in Thälern, ausserdem muss es um so höher werden, je reicher die Luft an positiven Ionen ist, und je näher die von diesen erfüllten Räume der Erdoberfläche kommen. Alles, was deren Anhäufung in den unteren Luftschichten begünstigt, wird die Potentialdifferenz zwischen der Erde und der unmittelbar darauf ruhenden Luft, „die Spannung der Luftelektricität", vermehren. Vor Allem wird der Bodennebel, indem er die gegen die Erdoberfläche wandernden positiven Ionen in sich festhält, das elektrische Feld verstärken. Ueberhaupt muss im Grossen und Ganzen der Gang des Potentialgefälles umgekehrt wie der der Leitfähigkeit der Luft verlaufen.

Ob es möglich sein wird, die tägliche und jährliche Periode der Luftelektricität vollständig auf entsprechende Veränderungen des Leitvermögens der unteren atmosphärischen Schichten zurückzuführen, muss späteren Untersuchungen vorbehalten werden, insbesondere auch die

Frage, wie die radioactiven Eigenschaften der Luft, die vielleicht selbst veränderlich sind, diese Erscheinungen beeinflussen können. —

Die elektrischen Störungen während des Falles von Niederschlägen lassen sich vermittelst der Ionentheorie ebenfalls in einer Weise auffassen, dass sie mit den experimentell zugänglichen Erscheinungen in gewissen Zusammenhang treten.

Es ist bekannt, dass künstlich ionisirte Luft, wenn sie mit Feuchtigkeit gesättigt und dann expandirt wird, in ähnlicher Weise verstärkte Nebelbildung zeigt, wie es bei Anwesenheit von Staub der Fall ist.

Durch die Experimentaluntersuchungen englischer Physiker, besonders von C. T. R. Wilson [1]), ist festgestellt, dass die negativen Ionen die Nebelbildung bei geringeren Graden der Uebersättigung — also der Expansion — herbeiführen als die positiven.

Nebel, der in staubfreier, in aufsteigender Bewegung begriffener Luft durch Uebersättigung in Folge der Expansion entsteht, müsste demnach, wenn die Ionen der elektrischen Luft auch in dieser Beziehung sich wie die künstlich erzeugten verhalten, selbst negativ elektrisch sein, und die gleiche Elektricität würden die aus ihm hervorgehenden Tropfen zur Erde führen. Hiernach wäre das Auftreten negativ geladener Niederschläge verständlich und zugleich eine zweite Quelle für die normale negative Ladung der Erdoberfläche gegeben. Die Luft, der durch den Fall der Tropfen negative Ionen entzogen sind, bliebe positiv geladen zurück. Erst bei viel weiter gehender Uebersättigung könnten auch die positiven Ionen zu Condensationskernen werden und mit dem Niederschlagswasser zur Erde herabkommen. Als Stütze dieser Auffassung lässt sich anführen, dass thatsächlich die Niederschläge häufig negativ elektrisch sind, und dass positive Ladungen von meist sehr hohem Betrage in der Regel während der sogenannten Platzregen beobachtet werden, die wohl den stärksten Uebersättigungen ihre Entstehung verdanken.

Da die Luft die ihr entzogenen Ionen von selbst wieder erzeugt, so erscheint die so gefundene Quelle der Niederschlagselektricität, auf die zuerst J. J. Thomson hingewiesen hat, vielleicht als reich genug, um die elektrische Thätigkeit eines Gewitters erklärlich zu machen. Dringend ist es der quantitativen Seite dieser Frage wegen zu wünschen, dass Messungen der Eigenelektricität des bei Expansion abgeschlossener ionisirter Luftmassen gebildeten Condensationswassers versucht würden.

Mag auch, besonders wenn der Blick an den gröberen Umrissen haftet, das Gesammtbild der atmosphärischen elektrischen Erscheinungen, von dem

1) C. T. R. Wilson, Philos. Transactions of the Royal Society of London. 193, pag. 289. 1899.

neuen Standorte aus gesehen, sich günstig zusammenfügen, so ist doch nicht zu vergessen, dass manche Annahmen und Verknüpfungen noch unzureichend begründet waren und einer schärferen Prüfung vielleicht nicht standhalten werden. Besonders ist der Nachweis noch zu erbringen, dass sowohl der Gehalt der Luft an freien Ionen, wie auch ihre Neubildung quantitativ genügt, um die Aeusserungen der atmosphärischen Elektricität darauf zurückzuführen.

Man darf wohl voraussehen, dass in nicht ferner Zeit ein anderes Gebiet der Geophysik, nämlich das des Erdmagnetismus, mit dem der Luftelektricität in engere Verbindung treten wird. Hoffentlich gelingt es, wie jetzt angestrebt wird, die magnetischen Messungen so einzurichten und zu verfeinern, dass sie den Betrag des Elektricitätsaustausches zwischen begrenzten Theilen der Erdoberfläche und der Atmosphäre mit einiger Sicherheit zu schätzen erlauben.

Ob das vorschwebende Ziel erreicht werden wird, die Intensität jener elektrischen Strömungen einerseits aus ihren magnetischen Wirkungen, andererseits aus dem Zustande der Atmosphäre, insbesondere der Leitfähigkeit der Luft und der Stärke des elektrischen Feldes über der Erdoberfläche, in übereinstimmender Weise abzuleiten, steht dahin, auf jeden Fall gewährt das Zusammengehen der beiden verwandten Forschungsbereiche für das der Luftlektricität die Aussicht auf neue und werthvolle Aufschlüsse.

Sollte das Dunkel, das über den Erscheinungen der atmosphärischen Elektricität noch liegt, vor den durch die allgemeine Elektronentheorie geschaffenen Vorstellungen und Erfahrungen wirklich zurückweichen, so würde dadurch zugleich verständlich werden, warum die Erkenntniss des Zusammenhanges der elektrischen Vorgänge, die uns die Natur bietet, und die uns täglich umgeben, so lange auf sich warten gelassen hat. Der mühevolle Weg, den uns Herr Dr. KAUFMANN geschildert hat, und der die allgemeine Physik zu so wunderbaren Erfolgen führte, würde dann auch den luftelektrischen Untersuchungen erst die Richtung auf's Ziel gewiesen haben.

Der Vorsitzende spricht den Referenten den Dank der Versammlung aus.

Herr VOLLER verliest eine Anzahl von Karten und Telegrammen.

Hierauf tritt eine Pause von 20 Minuten ein.

Weiter sprechen die Herren PAUL-Tübingen und HIS jun.-Dresden.

3.

Die Bedeutung der Ionentheorie für die physiologische Chemie.

Von

Theodor Paul-Tübingen.

„Corpora non agunt, nisi fluida“ heisst ein alter Erfahrungssatz in der Chemie, der aber auch für die Physiologie von Bedeutung ist, jener Wissenschaft, welche sich die Erforschung der Vorgänge in den lebenden Organismen zur Aufgabe gestellt hat. Beruhen ja doch weitaus die meisten biologischen Vorgänge auf einer Wechselwirkung der Stoffe im gelösten Zustande! Die gesammte Pflanzenwelt nimmt ihre Nahrung in gelöster Form auf, und wenn auch viele Thiere feste Stoffe zu sich nehmen, so müssen letztere doch durch besondere Einrichtungen des Organismus in Lösung übergeführt werden, ehe sie an der Ernährung Theil nehmen können. Mag die Rinde eines Baumes oder die Schale einer Steinfrucht noch so hart oder die Knochensubstanz eines Thieres noch so fest gefügt sein, die Stoffe, aus denen diese Organe bestehen, waren einmal Bestandtheile einer Lösung und wurden aus dieser Lösung an der Stelle abgelagert, wo sie jetzt ihren Platz haben. Einer der wichtigsten Bestandtheile unseres Körpers, das Blut, so mannigfaltig seine Zusammensetzung und so complicirt auch sein Aufbau ist, stellt im Wesentlichen eine wässerige Lösung von Gasen und festen Stoffen dar, deren Concentration während des Kreislaufes durch den Körper wechselt, und welche beim Durchströmen gewisser Organe wieder auf den früheren Gehalt gebracht wird. Auch der grössere Theil der festeren Gewebe ist als eine Lösung aufzufassen; der Umstand, dass sie nicht so dünnflüssig sind, wie das Blut, thut dieser Auffassung keinen Eintrag, seit wir in der Chemie ausser den flüssigen auch feste Lösungen kennen, und eine Lösung von Zucker in Wasser dieselben Gesetzmässigkeiten zeigt, wie die Lösung von Kohlenstoff in Eisen, welche wir Stahl nennen.

Es war deshalb zu erwarten, dass die Fortschritte, welche die neuere Chemie in der Erkenntniss des Wesens der Lösungen machte, auch befruchtend auf die Physiologie einwirken würden, und dass zwei wissenschaftliche Errungenschaften ersten Ranges, die Theorie der Lö-

sungen von J. H. VAN 'T HOFF und die Theorie der elektrolytischen Dissociation von SVANTE ARRHENIUS, durch welche unsere Anschauungen vom Zustande der Stoffe in Lösungen in vollkommen neue Bahnen gelenkt worden sind, für gewisse Gebiete der physiologischen Chemie einen Wendepunkt bedeuten. Obwohl die Zahl der Forscher, welche diese Theorien für die Lösung physiologisch-chemischer und allgemein-physiologischer Probleme nutzbar zu machen versuchten, noch relativ klein ist, und wenn auch die Ergebnisse ihrer Untersuchungen vielfach noch sehr lückenhaft sind, so lässt sich doch schon jetzt mit Bestimmtheit sagen, dass viele der zahllosen Widersprüche und Unklarheiten, denen man in der physiologischen Litteratur so häufig begegnet, nur auf Grund dieser neueren Anschauungen gelöst werden können. Da viele der hier in Frage kommenden Untersuchungen erst neueren oder neuesten Datums sind und deshalb in den Lehr- und Handbüchern noch nicht berücksichtigt werden konnten, habe ich der ehrenvollen Aufforderung seitens der Geschäftsführung dieser Versammlung gern Folge geleistet, Ihnen heute ein Referat über die Bedeutung der Theorie der elektrolytischen Dissociation oder der Ionen-Theorie, wie sie kurz genannt werden möge, zu erstatten. Ich will gleich im Voraus betonen, dass es vielfach unmöglich sein wird, die Rolle zu schildern, welche diese Theorie in der physiologisch-chemischen Forschung spielt, ohne gleichzeitig auf das Gebiet der VAN 'T HOFF'schen Theorien der Lösungen hinüber zu greifen und die neueren physikalisch-chemischen und elektrochemischen Methoden heranzuziehen. Ferner will ich bemerken, dass meine Zeit viel zu kurz bemessen ist, um Ihnen ein vollständiges Bild von den bisher ausgeführten Untersuchungen zu entwerfen, und dass ich daher diejenigen Arbeiten auswählen muss, welche sich für die Darstellung und Charakterisirung dieser neuen Anschauungen und ihrer physiologischen Nutzanwendung am besten eignen.[1]) Für Diejenigen unter Ihnen, denen die Ionen-Theorie noch weniger geläufig ist, will ich einige erläuternde Bemerkungen über das Wesen derselben vorausschicken, welche den principiellen Unterschied zwischen den älteren und den neueren Anschauungen darthun sollen.

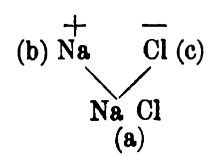
Bringen wir Kochsalz (NaCl) mit Wasser in Berührung, so verschwindet das feste Salz allmählich, es löst sich auf, d. h. es entsteht ein homogenes Gemenge von Kochsalz und Wasser. In der wässerigen Kochsalzlösung, so nahm man bisher an, sind neben den Wassermolekeln die Kochsalzmolekeln (NaCl-Molekeln) enthalten, und es hängt von der Con-

1) Eine umfassende Zusammenstellung der physiologisch-chemischen Untersuchungen, welche mit besonderer Berücksichtigung der Ionen-Theorie, wie überhaupt der neueren physikalisch-chemischen Lehren, bisher ausgeführt wurden, findet sich in den während der Drucklegung dieses Vortrages erschienenen „Vorträgen für Aerzte über physikalische Chemie“ von ERNST COHEN, Leipzig, Verlag von WILHELM ENGELMANN.

centration der Lösung ab, wie viele Salzmolekeln auf 100 oder 1000 Wassermolekeln kommen. Ganz analoge Verhältnisse erhalten wir, wenn an Stelle des Kochsalzes Zucker in Wasser aufgelöst wird, doch unterscheiden sich die beiden Lösungen unter Anderem dadurch, dass die Kochsalzlösung den elektrischen Strom leitet, was bei der Zuckerlösung nicht der Fall ist, und dass der osmotische Druck beider Lösungen auch dann noch sehr verschieden ist, wenn gleiche Volumina der Lösungen gleiche moleculare Mengen dieser Stoffe enthalten, wenn also z. B. in je 1 Liter der Lösungen 58,5 Gramm Chlornatrium ($NaCl$) oder 342 Gramm Zucker ($C_{12}H_{22}O_{11}$) gelöst sind. Die Kochzalzlösung hat einen viel grösseren osmotischen Druck, dem entsprechend sind auch ihre moleculare Siedepunktserhöhung und Gefrierpunktserniedrigung gegenüber dem Wasser bedeutender, als diejenigen der Zuckerlösung, kurz die Kochsalzlösung verhält sich so, als ob die Zahl der in der Lösung enthaltenen Molekeln grösser wäre, als in der äquimolecularen Zuckerlösung. Diese Eigenschaften, sowie das Verhalten zum elektrischen Strom haben im Wesentlichen zu der Annahme geführt, dass in einer Kochsalzlösung nicht sämmtliches Salz in der Form von NaCl-Molekeln enthalten ist, sondern dass die Mehrzahl der letzteren in elektrisch geladene Theilstücke, die Natrium-Ionen (Na-Ionen) und die Chlor-Ionen (Cl-Ionen) zerfällt, welche den Transport der Elektricität beim Durchgange eines elektrischen Stromes vermitteln, und deren jedes den osmotischen Druck der Lösung in demselben Grade beeinflusst, wie eine intacte Molekel. Diesen Vorgang der Spaltung der Kochsalzmolekeln in elektrisch geladene Ionen, welcher stets mit dem Auflösen des Salzes in Wasser verbunden ist und ohne jede Zuführung der Elektricität von aussen vor sich geht, bezeichnen wir mit dem Namen „elektrolytische Dissociation“. Wie wir später sehen werden, ist es in vielen Fällen wünschenswerth, den Bruchtheil der Salzmolekeln zu bestimmen, welcher in dieser Weise elektrolytisch dissociirt ist. Diese Bestimmung lässt sich mit Hülfe elektrischer Widerstandsmessungen ausführen, denn je grösser die Zahl der Ionen in einer Lösung ist, um so mehr Elektricität kann unter sonst gleichen Verhältnissen durch dieselbe transportirt werden, um so geringer ist ihr elektrischer Widerstand und um so grösser ihr reciproker Werth, die elektrische Leitfähigkeit. Ferner lassen sich hierzu die Messungen des osmotischen Druckes, der Siedepunktserhöhung, der Gefrierpunktserniedrigung der betreffenden Lösung, sowie die Bestimmung der in derselben auftretenden elektromotorischen Kräfte heranziehen. Wir können uns demnach die Constitution einer wässerigen Kochsalzlösung durch folgendes Schema versinnbildlichen:

Schema 1.

Constitution einer wässerigen Chlornatriumlösung nach der elektrolytischen Dissociationstheorie.



In diesem Schema bedeutet a = nichtdissociirte Chlornatriummolekeln, b = positive Natrium-Ionen, c = negative Chlor-Ionen.

Analog dem Chlornatrium verhalten sich auch die übrigen Salze, sowie die Säuren und Basen, Stoffe, deren wässerige Lösungen den elektrischen Strom leiten, und welche man deshalb mit dem gemeinsamen Namen „Elektrolyte" bezeichnet. So zerfällt das salpetersaure Silber in das positive Silber-Ion (Ag-Ion) und in das negative Salpetersäure-Ion (NO_3-Ion), das chlorsaure Kalium in das positive Kalium-Ion (K-Ion) und in das negative Chlorsäure-Ion (ClO_3-Ion). Die Säuren sind dadurch charakterisirt, dass sie sämmtlich in wässeriger Lösung positive Wasserstoff-Ionen (H-Ionen) abspalten unter gleichzeitiger Bildung eines für jede Säure charakteristischen negativen Ions. Die Ionen der Salzsäure sind die positiven Wasserstoff-Ionen (H-Ionen) und die negativen Chlor-Ionen (Cl-Ionen), diejenigen der Salpetersäure die positiven Wasserstoff-Ionen (H-Ionen) und die negativen Salpetersäure-Ionen (NO_3-Ionen) und die der Essigsäure die positiven Wasserstoff-Ionen (H-Ionen) und die negativen Essigsäure-Ionen ($CH_3.COO$-Ionen). Die Basen sind Verbindungen, welche in wässeriger Lösung sämmtlich negative Hydroxyl-Ionen (OH-Ionen) neben den für jede Base charakteristischen positiven Ionen abspalten. So enthält die Kalilauge ausser den negativen Hydroxyl-Ionen (OH-Ionen) positive Kalium-Ionen (K-Ionen), die Natronlauge positive Natrium-Ionen (Na-Ionen) und die wässerige Ammoniaklösung positive Ammonium-Ionen (NH_4-Ionen). Die „Stärke" der Säuren und Basen richtet sich nach dem Dissociationsgrad dieser Verbindungen. Eine Säure oder eine Base ist um so stärker, je grösser die Concentration der positiven Wasserstoff-Ionen, bezw. der negativen Hydroxyl-Ionen in ihrer wässerigen Lösung ist, wenn gleiche moleculare Mengen dieser Verbindungen gelöst werden. So ist die Essigsäure eine ungefähr hundertmal schwächere Säure, als die Salzsäure, und das Ammoniak eine ungefähr hundertmal schwächere Base, als die Kalilauge.

Es drängt sich nun die Frage auf: Welche Vortheile bietet diese neue Auffassung vom Zustande der Stoffe in Lösungen gegenüber unseren

bisherigen, scheinbar einfacheren Anschauungen für die physiologische Chemie? Fast möchte es scheinen, als ob die auf Grund der elektrolytischen Dissociationstheorie eintretende Spaltung der Molekeln, das Heranziehen neuer hypothetischer Hülfsstoffe, der Ionen, und die in den Lösungen herrschenden Gleichgewichte zwischen dissociirter und nichtdissociirter Substanz eher einen Rückschritt bedeuten! Dennoch wird Ihnen eine Reihe von praktischen Beispielen zeigen, dass uns die Ionen-Theorie die Mittel und Wege an die Hand giebt, die Zusammensetzung verschiedener bisher ungenügend erforschter Körperflüssigkeiten zu ermitteln, und uns instandsetzt, complicirte physiologisch-chemische Vorgänge auf einfache wohlbekannte Gesetze zurückzuführen und für die physiologische Wirkung vieler Stoffe eine einheitliche und ungezwungene Erklärung zu geben.

Eine hervorragende Rolle spielt in der Physiologie der Thiere und des Menschen die Zusammensetzung des Blutes. Welche Stoffe sind im Blut gelöst, und in welcher Concentration und in welcher Form sind sie darin vorhanden? Dies sind im Wesentlichen die Fragen, welche beantwortet werden müssen, um Aufklärung über die Vorgänge zu erhalten, die durch den Kreislauf des Blutes im thierischen und menschlichen Körper veranlasst werden. Bei der Bestimmung des Gehaltes an anorganischen Bestandtheilen war man bisher darauf angewiesen, das Blut einzudampfen, zu veraschen und die so gewonnene Asche zu analysiren. Die auf diese Weise erhaltenen Zahlen geben uns jedoch nur ungenügend Aufschluss über das, was wir wissen wollen; wir lernen dadurch nur die Menge der einzelnen Elemente kennen, welche im Blut enthalten sind, nicht aber die Form, in welcher sie gelöst sind. Wir erfahren also nicht, welche Elemente und wie viel davon Bestandtheile organischer Verbindungen sind, wie viel z. B. vom gefundenen Phosphor oder Schwefel an Eiweiss gebunden ist, und wie viel in der Form von Phosphaten oder Sulfaten gelöst ist. Man erfährt über die nähere Constitution des Blutes ungefähr eben so wenig, wie wenn man eine Taschenuhr in einer Säure auflöst und aus dem Gehalt der so erhaltenen Lösung an Gold, Kupfer, Zink, Eisen etc. einen Schluss auf die Zusammensetzung des Gehäuses, der Räder und anderer Bestandtheile ziehen wollte. Es war deshalb ein principieller Fortschritt, als vor einigen Jahren St. Bugarszky und F. Tangl [1]) bei ihren Untersuchungen über die Zusammensetzung des Blutserums folgenden Weg einschlugen. Sie ermittelten zunächst durch die Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung des Blutserums, welche sich mit Hülfe der von Ernst Beckmann

1) St. Bugarszky und F. Tangl, Physikalisch-chemische Untersuchungen über die molecularen Concentrationsverhältnisse des Blutserums. Archiv f. die ges. Physiologie, Bd. 72. (1898.) Eine vorläufige Mittheilung erschien im Centralblatt f. Physiologie 1897, Heft 9.

construirten Apparate in kurzer Zeit mit grosser Genauigkeit ausführen lässt, die Gesammtconcentration der gelösten, nicht dissociirten Molekeln und der Ionen. Hierauf bestimmten sie durch elektrische Leitfähigkeitsversuche die Concentration der letzteren, nachdem sie durch besondere Versuche festgestellt hatten, welchen Einfluss die gelösten Eiweissverbindungen auf die elektrische Leitfähigkeit ausüben. Unter gleichzeitiger Berücksichtigung der beim Veraschen hinterbleibenden Bestandtheile gelang es ihnen, die molecularen Concentrationsverhältnisse des Blutserums verschiedener Thiergattungen festzustellen. Eine ähnliche Untersuchung hat fast gleichzeitig HANS KOEPPE über den Salzgehalt der Frauen- und Kuhmilch ausgeführt.[1])

Da unsere Anschauungen über den Charakter der Säuren und Basen und über deren Stärkeverhältnisse durch die Ionentheorie scharf präcisirt und die Concentration der hierbei in Frage kommenden Ionen der Messung zugänglich gemacht worden sind, ist es möglich, der Lösung einiger Probleme näher zu treten, welche die physiologischen Chemiker und Aerzte schon seit langer Zeit beschäftigt haben, und die trotz alles aufgewandten Scharfsinns und trotz unzähliger mühevoller Experimentalarbeiten bisher nicht befriedigend gelöst wurden und gelöst werden konnten. Seitdem RÉAUMUR als einer der ersten um die Mitte des 18. Jahrhunderts den Mageninhalt von Thieren auf seine Acidität untersuchte, ist die Zahl der darüber veröffentlichten Arbeiten auf mehrere Hunderte angewachsen. Wohl geben uns die neueren, auf verschiedenen Principien beruhenden Bestimmungsmethoden über diese Frage annähernd Aufschluss, und für viele therapeutische Zwecke genügen die so erhaltenen relativen Zahlen, doch ist es bisher nicht möglich gewesen, die Concentration der Säure im Magensaft in absoluten Zahlen anzugeben. Die Ursache dieses Misserfolgs liegt neben der Unzulänglichkeit der Untersuchungsmethoden vor Allem in der Fragestellung. Nachdem man in Erfahrung gebracht hatte, dass der Mageninhalt zur regelrechten Verdauung der Speisen sehr stark sauer reagiren muss, war man vor Allem darauf bedacht, die „freie Salzsäure“ quantitativ zu bestimmen. Ueber den Begriff „freie Salzsäure“ herrschten indessen fast ebenso viele Ansichten, als es Untersuchungsmethoden gab, und eine Klärung dieser verschiedenen Anschauungen wurde noch dadurch um so schwieriger, weil die im Magen gleichzeitig anwesenden Eiweissstoffe und Amidoverbindungen, je nach dem Grade der vorhandenen Acidität, verschiedene Mengen der „freien Säure“ locker zu binden vermögen, sie aber mehr oder weniger vollständig abgeben, wenn die Concentration der „freien Säure“ unter einen gewissen Betrag sinkt. Da also diese vorübergehend an Eiweissstoffe und andere Substanzen gebundene Säure

---

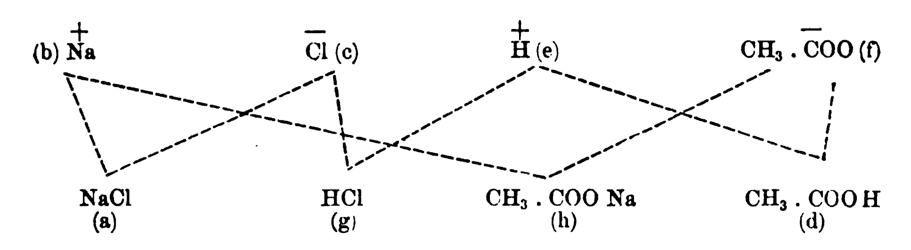
1) HANS KOEPPE, Vergleichende Untersuchungen über den Salzgehalt der Frauen- und Kuhmilch. Habilitationsschrift. (1898.)

ebenfalls an der Verdauung theilnehmen kann, machte man den Vorschlag, nicht die „freie Salzsäure", sondern die „physiologisch wirksame Salzsäure" zu bestimmen. Durch die Einführung dieses Begriffes war wohl ein neuer Gesichtspunkt für die Beurtheilung der nach den verschiedenen Untersuchungsmethoden erhaltenen Resultate geschaffen, nicht aber ein Weg gefunden, die Frage objectiv zu lösen.

Wir wollen nun einmal kurz untersuchen, wie sich die vorliegenden Verhältnisse gestalten, wenn wir sie vom Standpunkte der Ionen-Theorie aus betrachten, und ob Aussicht vorhanden ist, mit Hülfe einer der oben genannten physikalisch-chemischen oder elektrochemischen Untersuchungsmethoden das gewünschte Ziel zu erreichen. Wir gehen zunächst von dem einfachen Falle aus, dass nur zwei Säuren, die starke Salzsäure und eine schwächere organische Säure, die Essigsäure, in Frage kommen. Setzt man zu einer neutralen Kochsalzlösung etwas Essigsäure, so reagirt die Mischung sauer, und es kann die Frage aufgeworfen werden, wodurch die saure Reaction bedingt ist. Rührt sie lediglich von der zugesetzten Essigsäure her oder von der in Freiheit gesetzten Salzsäure, oder sind beide Säuren an derselben betheiligt? Nach der bisherigen Anschauung musste man annehmen, dass in diesem Falle nur die Essigsäure den sauren Charakter bedinge, da diese als schwache organische Säure nicht die starke Salzsäure aus ihrem Natriumsalz frei machen könne. Entwerfen wir uns aber, ähnlich wie wir es oben gethan haben, ein Bild von der Constitution der Kochsalzlösung nach Zusatz der Essigsäure, so gelangen wir zu folgendem Schema:

Schema 2.

Constitution einer wässerigen Kochsalzlösung nach Zusatz von Essigsäure auf Grund der elektrolytischen Dissociationstheorie.[1])



In diesem Schema bedeutet:

a = nichtdissociirte Chlornatriummolekeln,

b = durch Dissociation des Chlornatriums entstandene positive Natrium-Ionen,

1) Die zwischen den einzelnen Zeichen gezogenen Striche sollen andeuten, dass die betreffenden Stoffe mit einander im Dissociationsgleichgewicht stehen.

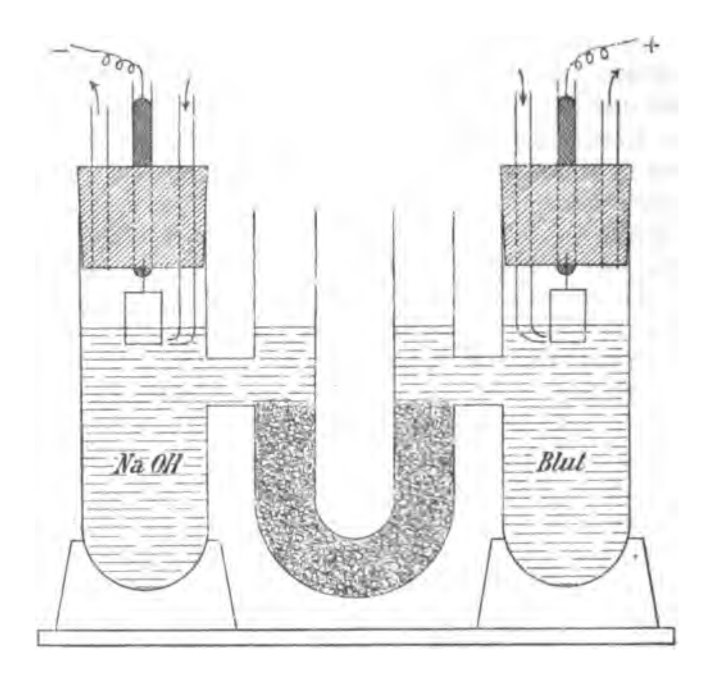
c = durch Dissociation des Chlornatriums entstandene negative Chlor-Ionen,
d = nichtdissociirte Essigsäuremolekeln;
e = durch Dissociation der Essigsäure entstandene positive Wasserstoff-Ionen,
f = durch Dissociation der Essigsäure entstandene negative Essigsäure-Ionen,
g = durch Vereinigung von negativen Chlor-Ionen und positiven Wasserstoff-Ionen entstandene nichtdissociirte Salzsäuremolekeln.
h = durch Vereinigung von positiven Natrium-Ionen und negativen Essigsäure-Ionen entstandene nichtdissociirte Natriumacetatmolekeln.

Die Kochsalzlösung enthielt zunächst ausser den nichtdissociirten Chlornatrium-Molekeln (a) nur positive Natrium-Ionen (b) und negative Chlor-Ionen (c), und zu diesen gesellten sich durch das Hinzufügen der Essigsäure die nichtdissociirten Essigsäure-Molekeln (d) und deren Ionen, die positiven Wasserstoff-Ionen (e) und die negativen Essigsäure-Ionen (f). Da ungleichnamige Ionen immer theilweise zu nichtdissociirter Substanz zusammentreten, deren Concentration sich nach dem Dissociationsgrad der betreffenden Stoffe unter den bestehenden Verhältnissen richtet, so bildet sich aus den positiven Natrium-Ionen (b) und den negativen Essigsäure-Ionen (f) etwas nichtdissociirtes Natriumacetat (h) und aus den positiven Wasserstoff-Ionen (e) und den negativen Chlor-Ionen (c) ein wenig nichtdissociirte Salzsäure (g). Es ist nun wichtig, zu wissen, dass die saure Reaction des Gemisches lediglich durch die Concentration der positiven Wasserstoff-Ionen (e) bedingt wird; die nichtdissociirten Salzsäure-Molekeln (g) und die Essigsäure-Molekeln (d) tragen dazu nichts bei. Da die positiven Wasserstoff-Ionen (e) sowohl mit den Essigsäure-Molekeln (d), wie auch mit den Salzsäure-Molekeln (g) im Gleichgewicht stehen, ist die Frage erledigt, welche von beiden Säuren den sauren Charakter der Lösung bedingt: es sind beide Säuren betheiligt. In derselben Weise, nur complicirter, gestaltet sich das Bild, wenn ausser der Essigsäure noch die dreibasische Phosphorsäure oder andere Säuren gegenwärtig sind, wie dies im Magensaft der Fall ist. Auch die Gegenwart von säurebindenden Eiweisskörpern ändert an dieser Sachlage nichts; ist deren Menge gross genug, so geht die Concentration der Wasserstoff-Ionen nicht über ein gewisses Maass hinaus.

Durch die eben angestellten Ueberlegungen haben wir den Begriff der Acidität des Magensaftes in ganz unzweideutiger Weise präcisirt: die Acidität eines solchen Gemisches ist identisch mit der Concentration der darin enthaltenen Wasserstoff-Ionen. Es tritt nun eine zweite wichtige Frage an uns heran: Wie können wir die Concentration dieser Wasserstoff-Ionen bestimmen? Leider lässt

sich hierzu nicht das bequemste Hülfsmittel, welches die analytische Chemie kennt, die Titration, benutzen, da gleiche moleculare Mengen der starken Salzsäure und der schwachen organischen Säuren, Essigsäure und Buttersäure, gleiche Volumina Kalilauge oder Natronlauge zur Sättigung brauchen. Damit soll nicht in Abrede gestellt werden, dass sich mit Hülfe passend gewählter Indicatoren, wie z. B. Methylviolett, Tropäolin oder Congoroth, welche erst auf eine grössere Wasserstoff-Ionen-Concentration reagiren, für die ärztliche Praxis brauchbare, vergleichende Werthe ermitteln lassen. Ja, es ist wünschenswerth, dass diese Methoden mit Hülfe der Theorie der Indicatoren weiter ausgebildet werden, welche Wilhelm Ostwald auf Grund der Ionen-Theorie aufgestellt hat, und die es ermöglicht, die zahlreichen Indicatoren der Acidimetrie und Alkalimetrie nach einem einheitlichen Gesichtspunkt zu klassificiren und die für jeden Indicator charakteristische Empfindlichkeitsgrenze festzustellen. Der Weg, den wir zur exacten Bestimmung der Acidität in einem so complicirt zusammengesetzten Flüssigkeitsgemisch einzuschlagen haben, ist uns durch die Theorie der elektromotorischen Kräfte von Walther Nernst vorgezeichnet, einer Theorie, welche einer sehr vielseitigen Anwendung in der physiologischen Chemie fähig ist. Die Versuchsanordnung, welche in den elektrochemischen Laboratorien zur Bestimmung der Ionen-Concentration in einer Lösung allgemein benutzt wird, ist diejenige einer galvanischen Concentrationskette. Bringt man ein Silberstäbchen in eine Silbernitratlösung und ein zweites Stäbchen in eine ebensolche, aber etwa nur halb so concentrirte Lösung, verbindet man ferner diese beiden Lösungen durch einen mit einer indifferenten Salzlösung gefüllten Heber und die beiden Stäbchen durch einen Draht, so fliesst durch denselben ein elektrischer Strom. Derselbe wird veranlasst durch die verschiedene Concentration der Silber-Ionen in den beiden Flüssigkeiten. Mit Hülfe der Nernst-schen Theorie können wir aus dem Concentrationsunterschied der Silber-Ionen die elektromotorische Kraft berechnen, welche der auftretende elektrische Strom besitzt, und umgekehrt lässt sich die Concentration der Silber-Ionen in einer der Flüssigkeiten durch Rechnung finden, wenn die Concentration der Silber-Ionen in der anderen Flüssigkeit und die elektromotorische Kraft des Stromes bekannt sind. Dieselbe Versuchsanordnung können wir zur Bestimmung der Wasserstoff-Ionen-Concentration in einem Flüssigkeitsgemisch anwenden; an Stelle der Silberelektroden benutzen wir Platinbleche, die mit Platinschwarz überzogen und mit Wasserstoff gesättigt sind, und welche sich wie eine „Wasserstoffelektrode" verhalten, als Gegenflüssigkeit wenden wir verdünnte Salzsäure von bekanntem Gehalt an, deren Wasserstoff-Ionen-Concentration sich experimentell leicht ermitteln lässt. Die Brauchbarkeit dieser „Gasketten" zur Bestimmung der Concentration von Wasserstoff-Ionen und Hydroxyl-Ionen in Lösungen ist besonders im physikalisch-

chemischen Institut von WILHELM OSTWALD vielseitig erprobt worden. Auch zur Titration von Säuren und Basen in gefärbten Lösungen, bei welchen der Gebrauch von Farbstoffen als Indicator ausgeschlossen ist, lässt sich diese Versuchsanordnung mit einigen Modificationen benutzen, wie ich vor einigen Jahren in Gemeinschaft mit WILHELM BÖTTGER gezeigt habe. [1]) An die Stelle der Indicatorflüssigkeiten tritt in diesem Falle das Elektrometer. In neuester Zeit hat RUDOLF HÖBER [2]) versucht, mit Hülfe der Gaskette die Concentration der Hydroxyl-Ionen im Blut, also dessen Alkalescenz zu bestimmen. Der Apparat, welchen er benutzte, ist in nachstehender Figur abgebildet. Der eine Schenkel



des U-Rohres wurde mit defibrinirtem Rinderblut gefüllt, während der andere Natronlauge oder Salzsäure bestimmter Concentration enthielt, je nachdem mit Sauerstoff oder Wasserstoffelektroden gearbeitet werden sollte. Die mit Platin schwarz überzogenen Elektroden wurden durch die Stopfen eingeführt, welche ausserdem noch Zufluss- und Abflussröhren für die betreffenden Gase trugen. Um ein Vermischen der beiderseitigen Flüssigkeiten zu verhindern, wurde das Verbindungsrohr

1) WILHELM BÖTTGER, Die Anwendung des Elektrometers als Indicator beim Titriren von Säuren und Basen. Dissertation, Leipzig 1897. Ein Abdruck derselben findet sich in der Zeitschrift für physikalische Chemie. **24**, 253.

2) RUDOLF HÖBER, Ueber die Hydroxyl-Ionen des Blutes. Archiv für die ges. Physiologie. Bd. **81** (1900).

mit Watte ausgestopft, welche mit Kochsalzlösung getränkt war. Wenn auch die bei diesen ersten Versuchen erhaltenen Zahlen noch mit recht grossen Fehlern behaftet sind, so zeigen sie doch die principielle Brauchbarkeit der Methode.

Wie oben gelegentlich erwähnt wurde, verhält sich das Eiweiss zu stärkeren Säuren wie eine schwache Base, und in Folge dessen wird die Säure des Magensaftes zum Theil an die vorhandenen Eiweissstoffe gebunden. Diese für die Kenntniss der Pepsinverdauung ausserordentlich wichtigen Vorgänge sind vor mehreren Jahren von John Sjöqvist auf Grund der Ionen-Theorie klar gelegt und mit Hülfe von elektrischen Leitfähigkeitsversuchen quantitativ verfolgt worden[1]). Einige Jahre später (1898) haben Stefan Bugarszky und Leo Liebermann[2]) das Bindungsvermögen eiweissartiger Stoffe für Salzsäure, Natriumhydroxyd und Kochsalz durch die Messung der elektromotorischen Kräfte in Gasketten und durch die Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung ermittelt. Die nach diesen von einander unabhängigen Methoden gefundenen Werthe stimmen ganz befriedigend überein und sind in so fern ein Beweis für die Stichhaltigkeit und Zweckmässigkeit der neuen Anschauungen, als die darauf gegründeten Rechnungen sich der Erfahrung anschliessen. Eine interessante Beobachtung wurde auch kürzlich bei einer unter Leitung von Paul Grützner im physiologischen Institut zu Tübingen ausgeführten Untersuchung über den Einfluss von Salzen auf die Säuregerinnung der Milch gemacht[3]). Grützner[4]) hatte gefunden, dass die Caseïnausfällung äquimolecularer Säurelösungen je nach der Stärke der betreffenden Säuren quantitativ ganz verschieden ist. Die Salzsäure fällt beispielsweise unter sonst gleichen Umständen 5—6 mal so viel Caseïn aus, als die schwache Essigsäure. Setzt man den Säurelösungen gewisse Salze zu, so wird die Menge des ausgefällten Caseïns geringer, obwohl bekanntlich Salze die Ausfällung von Eiweisskörpern vielfach unterstützen. Besonders schön war diese Erscheinung bei der Fällung der Milch durch Essigsäure zu beobachten. Ein geringer Zusatz von essigsaurem Natrium übte schon einen sehr beträchtlichen Einfluss aus. Wie war diese merkwürdige Erscheinung zu erklären? Die Ionen-Theorie giebt auf diese Frage folgende Antwort: die Concentration der Wasserstoff-Ionen in der Lösung einer mittelstarken oder schwachen

1) John Sjöqvist, Physiologisch-chemische Beobachtungen über Salzsäure. Skandinavisches Archiv f. Physiologie. Bd. 5 (1895).

2) Stefan Bugarszky und Leo Liebermann, Ueber das Bindungsvermögen eiweissartiger Körper für Salzsäure, Natriumhydroxyd und Kochsalz. Archiv für die ges. Physiologie. Bd. 72 (1898).

3) Ernst Haffner, Ueber den Einfluss von Salzen auf die Säuregerinnung der Milch. Dissertation. Tübingen 1901.

4) Paul Grützner, Die Caseïnausfällung, ein einfaches Mittel, um die Acidität von Säuren zu bestimmen. Archiv für die ges. Physiologie. Bd. 68, S. 168 (1897).

Säure muss nach dem von GULDBERG und WAAGE im Jahre 1867 aufgestellten Massenwirkungsgesetz durch den Zusatz eines gleichionigen Salzes geringer werden, und deshalb übt die Säure eine schwächere Wirkung aus. Fügen wir demnach zu einer wässerigen Lösung von Essigsäure essigsaures Natrium, so drängen dessen Essigsäure-Ionen die Dissociation der Essigsäure zurück und verringern dadurch ihre Fähigkeit, das Caseïn auszufällen. Die Dissociation der starken Salzsäure lässt sich durch Hinzufügen des gleichionigen Kochsalzes viel weniger beeinflussen, und auch diese auf rein theoretischer Grundlage angestellte Ueberlegung wurde durch das Experiment bestätigt. Das scheinbar paradoxe Verhalten dieser Salze findet dadurch eine ungezwungene Erklärung.

Mit Rücksicht auf die grosse Bedeutung, welche dem Verhalten der Harnsäure und ihrer Salze im Blut, im Harn und in den Gewebeflüssigkeiten zukommt, da verschiedene häufig auftretende und besonders schmerzhafte Krankheiten auf einer pathologischen Abscheidung der Harnsäure und ihrer Salze im Körper beruhen, habe ich in Gemeinschaft mit WILHELM HIS dem Jüngeren begonnen, das Verhalten dieser Stoffe in Lösungen vom Standpunkte der Ionen-Theorie aus einer systematischen Untersuchung zu unterziehen. Wir sind überzeugt, dass eine zweckmässige Therapie nur dann eingeschlagen werden kann, wenn die Bedingungen klargestellt sind, unter welchen die Abscheidung der Harnsäure oder ihrer schwer löslichen Salze aus den Lösungen erfolgt, und unter welchen eine Wiederauflösung möglich ist. Auf diese Untersuchungen, die zunächst in rein wässerigen Lösungen angestellt wurden, kann ich nicht näher eingehen, doch möchte ich kurz zweier Resultate Erwähnung thun, die besonders geeignet sind, den Nutzen der Ionen-Theorie darzuthun. Diese lehrt, dass die Abscheidung eines schwer löslichen Salzes aus einer Lösung nicht nur von seiner Löslichkeit im reinen Lösungsmittel abhängt, sondern dass die gleichzeitig in der Lösung anwesenden Salze, welche mit jenem ein Ion gemeinsam haben eine beträchtliche Löslichkeitsverminderung veranlassen können. So löst sich z. B. das saure harnsaure Natrium in Wasser von Zimmertemperatur im Verhältniss von 1 : 1130, in einer physiologischen Kochsalzlösung dagegen, welche nur 7 g Chlornatrium im Liter enthält, erreicht die Löslichkeit nicht einmal das Verhältniss 1 : 11000, da die Dissociation des Natriumurats durch die Natrium-Ionen des Kochsalzes sehr erheblich vermindert wird. Dieselbe Löslichkeitsverminderung bewirken natürlich auch andere Natriumsalze. Viele Aerzte sind noch heute der Ansicht, dass man harnsaure Ablagerungen im Körper durch Darreichung von grossen Gaben Natriumbicarbonat zur Auflösung bringen könne. Falls es wirklich gelänge, das Blut an Natriumbicarbonat anzureichern, würden dadurch die gichtischen Concremente nicht leichter, sondern schwerer löslich werden. Ebenso irrig ist eine andere

Vorstellung, welche zur Zeit noch allgemein ist. Da das harnsaure Lithium und die harnsauren Salze gewisser organischer Basen, wie z. B. das harnsaure Piperazin, leichter löslich sind, als das saure harnsaure Natrium, giebt man den Kranken Lithium- und Piperazinsalze in der Erwartung, dass eine Umsetzung mit den abgelagerten schwer löslichen harnsauren Salzen stattfinden und die leichter lösliche Verbindung gebildet werde. Eine einfache Ueberlegung zeigt aber, dass diese Hoffnung nicht in Erfüllung gehen kann. Sollten diese Präparate, wie von vielen Aerzten behauptet wird, thatsächlich einen günstigen Einfluss bei solchen Krankheiten ausüben, die auf einer pathologischen Abscheidung harnsäurehaltiger Concremente beruhen, so steht dies mit unseren Ausführungen nicht nothwendiger Weise im Gegensatz, wir sind nur genöthigt, eine neue Erklärung für deren Wirkung zu suchen.

Im innigen Zusammenhange mit der Constitution einer Lösung steht auch ihre physiologische Wirkung, denn es hat von jeher als Fundamentalsatz gegolten, dass die physiologische Wirkung einer Substanz ihrem chemischen Charakter entspricht. Da die Salze, Säuren und Basen in wässeriger Lösung mehr oder weniger in Ionen zerfallen, muss sich auch ihre physiologische Wirkung aus derjenigen der nicht dissociirten Molekeln und der Ionen zusammensetzen. Da wir ferner aus der analytischen Chemie wissen, dass fast sämmtliche Reactionen auf einer Wechselwirkung der Ionen beruhen, während die nicht dissociirten Molekeln nicht oder nur secundär an den Reactionen theilnehmen, liess sich erwarten, dass die physiologische Wirkung gelöster Elektrolyte in erster Linie von den Eigenschaften und der Concentration der in der Lösung befindlichen Ionen abhängen werde. Thatsächlich haben zahlreiche Beobachtungen diese Erwartungen bestätigt. Es sei zunächst an die Versuche Wilhelm Pfeffer's erinnert, welcher fand, dass die verschiedenen Salze der Aepfelsäure die gleiche anlockende Wirkung auf Schwärmsporen von Algen ausüben, während Aepfelsäureester diese Eigenschaft nicht zeigen. Die äpfelsauren Salze sind in ihren wässerigen Lösungen weitgehend dissociirt, diese enthalten demnach sämmtlich das wirksame Princip: das Aepfelsäure-Ion, während die Aepfelsäureester nicht zu den Elektrolyten gehören und keine Aepfelsäure-Ionen abspalten. Eine ausgezeichnete Untersuchung über die Giftwirkung von Quecksilbersalzen auf Hefezellen, Frösche und Fische hat 1893 H. Dreser[1]) im physiologisch-chemischen Institut von G. Hüfner in Tübingen ausgeführt. Er fand, dass die verschiedenen Typen angehörenden Quecksilberverbindungen verschieden lange Zeit zur Entfaltung ihrer Giftwirkung bedurften, obgleich die Lösungen die gleiche Menge Quecksilber enthielten. Am deutlichsten traten diese Unterschiede bei den Hefe-

1) H. Dreser, Zur Pharmakologie des Quecksilbers. Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie. 32, 456 (1893).

zellen zu Tage; während Cyan-, Succinimid- und Rhodanquecksilber die Vergährung des Zuckers bei einem Metallgehalt verhinderten, welcher einer 1 promilligen Sublimatlösung gleichkam, war bei gleichem und noch höherem Metallgehalt das Kaliumquecksilberhyposulfit nicht im Stande, die Hefegährung zu unterdrücken. Bei den Fröschen und Fischen war der Unterschied in der Wirkung zwar noch deutlich zu beobachten, aber nicht so beträchtlich. DRESER führte das abnorme pharmakodynamische Verhalten des Kaliumquecksilberhyposulfits auf die geringe Concentration der Quecksilber-Ionen in dessen wässeriger Lösung zurück und stellte noch eine Reihe weiterer Versuche an, welche diese Annahme bestätigten.

In den Jahren 1895/96 habe ich in Gemeinschaft mit BERNHARD KRÖNIG eine grössere Untersuchung über das Verhalten von Bakterien zu chemischen Stoffen aller Art unter Zugrundelegung der neueren physikalisch-chemischen Theorien angestellt, und bei dieser Gelegenheit haben wir auch geprüft, ob die Giftwirkung von Metallsalzen, Säuren und Basen im Zusammenhange mit deren elektrolytischer Dissociation stehe[1]). Diese Untersuchung erschien uns um so wichtiger, als kein Geringerer wie BEHRING den im schroffsten Gegensatz zu dieser Annahme stehenden Satz aufgestellt hatte, dass z. B. „der desinficirende Werth der Quecksilberverbindungen im Wesentlichen nur von dem Gehalt an löslichem Quecksilber abhängig ist, die Verbindung mag sonst heissen, wie sie wolle".[2]) Wenn ich auf unsere Versuche hier etwas näher eingehe, so geschieht dies nicht deshalb, weil ich sie etwa für wichtiger hielte als diejenigen anderer Autoren, sondern weil sie die Abhängigkeit der Giftwirkung vom elektrolytischen Dissociationsgrade der betreffenden Verbindungen sehr klar zum Ausdruck bringen. Die Versuche wurden in der Weise ausgeführt, dass eine gleiche Anzahl von geeigneten Bakterien (Sporen des Milzbrandbacillus oder vegetative Formen von Staphylococcus pyogenes aureus) in äquimoleculare Lösungen der zu vergleichenden Stoffe gebracht wurden. Nach Ablauf einer bestimmten Zeit wurden die Mikroorganismen aus der Lösung herausgenommen, mittelst geeigneter Reagentien von den anhängenden Giftstoffen befreit und auf Agarnährboden zum Auskeimen gebracht. Die Zahl der keimfähig gebliebenen Bakterien giebt einen Maassstab für die Giftwirkung der Lösungen ab. Um zu prüfen, ob die von uns benutzte

1) TH. PAUL und B. KRÖNIG, Ueber das Verhalten der Bakterien zu chemischen Reagentien. Zeitschrift für physikalische Chemie **12**, 414 (1896).

Dieselben. Die gesetzmässigen Beziehungen zwischen Lösungszustand und Wirkungswerth der Desinfectionsmittel. Münchener medicin. Wochenschrift 1897, No. 12.

Dieselben. Die chemischen Grundlagen der Lehre von der Giftwirkung und Desinfection. Zeitschrift für Hygiene und Infectionskrankheiten. **25**, I (1897).

2) Zeitschrift für Hygiene. Bd. **9**, Seite 400.

Methode brauchbar sei, und um die Genauigkeit der Bestimmungen festzustellen, haben wir eine Anzahl Controlversuche mit Quecksilberchloridlösungen verschiedener Concentration ausgeführt, die in Tabelle 1 zusammengestellt sind [1]).

Tabelle 1.

Einwirkung von wässerigen Quecksilberchloridlösungen verschiedener Concentration auf Sporen von Bacillus anthracis.

Dauer der Einwirkung in Minuten	Eine Grammmolekel = 271 g $HgCl_2$ ist enthalten in:				
	16 Litern = 1,69 %	32 Litern = 0,84 %	64 Litern = 0,42 %	128 Litern = 0,21 %	256 Litern = 0,11 %
	Zahl der keimfähig gebliebenen Sporen				
2	549	—	—	—	—
3	323	678	—	3829	—
4	236	—	—	—	—
5	138	—	961	—	—
6	82	310	—	2069	—
7	42	—	—	—	—
8	19	—	—	—	—
9	—	168	—	—	—
10	10	—	397	520	2027
12	1	38	—	—	—
14	0	—	—	—	—
15	—	10	178	302	749
18	—	5	—	—	—
20	—	—	41	231	612
21	—	3	—	—	—
24	—	2	—	—	—
25	—	—	9	121	432
27	—	1	—	—	—
30	—	0	7	46	306
33	—	—	—	—	—
35	—	—	3	21	227
40	—	—	2	7	183
45	—	—	1	—	151
50	—	—	1	5	133
55	—	—	1	—	—
60	—	—	1	1	79
70	—	—	—	1	16
80	—	—	—	0	10
90	—	—	—	—	5
100	—	—	—	—	3
110	—	—	—	—	3
120	—	—	—	—	2

1) Einem neueren Gebrauche in der physikalischen Chemie zufolge haben wir die Concentrationen der Lösungen in Litern ausgedrückt, d. h. bei jeder Lösung

Da die Zahl der keimfähig gebliebenen Sporen unter sonst gleichbleibenden Bedingungen nur von der Dauer der Einwirkung und der Concentration der Lösungen abhängt und Unregelmässigkeiten nicht auftreten, war die Brauchbarkeit unserer Methode vollkommen bewiesen.

Zunächst liessen wir die verschiedenen Halogenverbindungen des Quecksilbers, von denen wir wissen, dass sie verschieden stark dissociirt sind, auf Milzbrandsporen einwirken. Entsprechend ihrer elektrischen Leitfähigkeit in wässeriger Lösung und wegen ihres thermochemischen Verhaltens ordnen sich diese Salze nach ihrem elektrolytischen Dissociationsgrad in folgender Reihenfolge an:

1. Mercurichlorid ($HgCl_2$),
2. Mercuribromid ($HgBr_2$),
3. Mebcurirhodanid [$Hg(CNS)_2$],
4. Mercurijodid (HgJ_2),
5. Mercuricyanid ($HgCy_2$).

Das Mercurichlorid ist am stärksten, das Mercuricyanid am schwächsten dissociirt. Wie aus den folgenden Tabellen hervorgeht, ist die Desinfectionskraft dieser verschieden dissociirten Quecksilberverbindungen ganz verschieden, und zwar ordnen sie sich in Bezug auf ihre Desinfectionskraft in derselben Reihenfolge an, wie nach ihrem elektrolytischen Dissociationsgrad. In Tabelle 2 kamen zunächst die

Tabelle 2.

Einwirkung von Halogenquecksilberverbindungen verschiedenen elektrolytischen Dissociationsgrades auf Sporen von Bacillus anthracis.

Lösung	Zahl der Liter, in denen das der Formel entsprechende Moleculargewicht in Grammen gelöst ist	Procentgehalt der Lösung	Einwirkungsdauer: 20 Minuten	85 Minuten
			Zahl der keimfähig gebliebenen Sporen	
1. $HgCl_2$	64 Liter	0,42	7	0
2. $HgBr_2$	64 „	0,56	34	0
3. $HgCy_2$	16 „	1,57	unzählige	33

die Anzahl der Liter angegeben, welche so viel Gramm des betreffenden Stoffes enthalten, als sein Moleculargewicht beträgt. So verstehen wir z. B. unter einer Quecksilberchloridlösung „16 Liter" oder, wie man auch sagt, einer „16 litrigen" Quecksilberchloridlösung eine solche, welche in 16 Litern ein Grammmoleculargewicht = 271 g Sublimat enthält. Diese Lösung würde einer $\frac{271 \cdot 100}{16000} = 1{,}69$-procentigen Sublimatlösung entsprechen.

drei leichter löslichen Halogenverbindungen $HgCl_2$, $HgBr_2$ und $HgCy_2$ auf Milzbrandsporen zur Einwirkung. Nach 20 Minuten blieben bei dem am stärksten dissociirten Quecksilberchlorid nur 7 Sporen keimfähig, beim weniger dissociirten Quecksilberbromid 34 und beim Quecksilbercyanid, obwohl es in der vierfachen molecularen Concentration zur Anwendung gelangte, noch unzählige Sporen. Nach 85 Minuten haben die beiden ersten Verbindungen die Keimfähigkeit aller Sporen vernichtet, während sich beim Cyanid noch 33 Sporen zu Kolonien entwickelten. Da das Quecksilberjodid im Wasser sehr schwer löslich ist, wurde es bei den Versuchen in Tabelle 3 in der Form des leicht löslichen complexen Salzes K_2HgJ_4 (durch Auflösen von HgJ_2 in Jodkaliumlösung bereitet) angewendet. Selbstversändlich mussten zum Vergleich auch die anderen Quecksilberhalogenverbindungen in der Form ihrer complexen Salze zur Anwendung kommen. Wie aus der Tabelle hervorgeht, reiht sich das Jodid thatsächlich zwischen das Bromid und Cyanid ein.

Tabelle 3.

Einwirkung von Halogenquecksilberverbindungen verschiedenen elektrolytischen Dissociationsgrades auf Sporen von Bacillus anthracis.

Lösung	Zahl der Liter, in denen das der Formel entsprechende Moleculargewicht in Grammen gelöst ist	Procentgehalt der Lösung	Einwirkungsdauer: 90 Minuten. Zahl der keimfähig gebliebenen Sporen
1. $HgCl_2 + 2\ KCl$	16 Liter	$HgCl_2$ 1,69 + KCl 0,93	0
2. $HgBr_2 + 2\ KBr$	16 „	$HgBr_2$ 2,25 + KBr 1,49	5
3. $HgJ_2 + 2\ KJ$	16 „	HgJ_2 2,84 + KJ 2,07	389
4. $HgCy_2 + 2\ KCy$	16 „	$HgCy_2$ 1,57 + KCy 0,81	1035

Um auch das schwerlösliche Rhodanid zum Vergleich heranziehen zu können, bei welchem die Herstellung einer concentrirten Lösung des complexen Salzes Schwierigkeiten bereitet, haben wir zu einer Quecksilberchloridlösung die betreffenden Alkaliverbindungen im Ueberschuss gesetzt. Nach den Gesetzen des chemischen Gleichgewichtes verhalten sich derartige Gemische im Allgemeinen so, wie die Lösungen der reinen complexen Salze. Auch hier nimmt das Rhodanid in Bezug auf seine Desinfectionskraft die durch die Theorie vorhergesehene Stellung ein. (Vergl. Tabelle 4.)

Diese Versuche zeigen so recht die Unhaltbarkeit der Behring'schen Anschauungen, die bis in die neueste Zeit auch von vielen anderen Bakteriologen getheilt wurden; der Gehalt an löslichem Quecksilber

Tabelle 4.

Einwirkung von Halogenquecksilberverbindungen verschiedenen elektrolytischen Dissociationsgrades auf Sporen von Bacillus anthracis.

Lösung	Zahl der Liter, in denen das der Formel entsprechende Moleculargewicht in Grammen gelöst ist	Procentgehalt der Lösung	Einwirkungsdauer: 90 Minuten. Zahl der keimfähig gebliebenen Sporen
1. $HgCl_2$ + 4 KCl .	16 Liter	$HgCl_2$ 1,69 + KCl 1,86	0
2. „ + 4 KBr .	16 „	„ 1,69 + KBr 2,98	5
3. „ + 4 KSCN	16 „	„ 1,69 + KCNS 2,42	173
4. „ + 4 KJ .	16 „	„ 1,69 + KJ 4,15	431
5. „ + 4 KCy .	16 „	„ 1,69 + KCy 1,62	795

bleibt bei allen fünf Versuchen genau derselbe — zu jedem wird eine 1,69proc. Sublimatlösung benutzt — und wie verschieden ist die Desinfectionswirkung! Um zu untersuchen, ob diese Gesetzmässigkeiten auch für die vegetativen Formen der Bakterien gelten, liessen wir Quecksilberchlorid und Quecksilbercyanid, letzteres in der vierfachen Concentration, auf Staphylokokken einwirken; der Erfolg war, wie aus Tabelle 5 hervorgeht, derselbe wie bei den Milzbrandsporen.

Tabelle 5.

Einwirkung von Halogenquecksilberverbindungen verschiedenen elektrolytischen Dissociationsgrades auf die vegetativen Formen von Staphylococcus pyogenes aureus.

Lösung	Zahl der Liter, in denen das der Formel entsprechende Moleculargewicht in Grammen gelöst ist	Procentgehalt der Lösung	Einwirkungsdauer: 3 Minuten. Zahl der keimfähig gebliebenen Staphylokokken
1. $HgCl_2$	64 Liter	0,42	0
2. $HgCy_2$	16 „	1,57	6700

Wir sehen also, dass die Desinfectionskraft der Quecksilberverbindungen in hohem Grade von ihrem Dissociationsgrad abhängt, und dass die Concentration der Metall-Ionen in den Lösungen eine hervorragende Rolle zu spielen scheint. In dieser Anschauung wurden wir noch durch das Verhalten der Silbersalze bestärkt. Während diese im Allgemeinen annähernd gleich stark dissociirt sind, enthält die wasserlösliche complexe Cyanverbindung, welche durch Auflösen von Silbercyanid in einer Cyankaliumlösung erhalten wird, nur sehr wenige Metall-Ionen.

Wie die in Tabelle 6 aufgeführten Versuche beweisen, macht sich dies in eclatantester Weise bei der Desinfectionswirkung geltend. Während das Silbernitrat und Silberacetat in Lösungen, welche eine Grammmolekel dieser Salze erst in 200 Litern enthielten, bereits nach 3 Minuten alle Staphylokokken abgetödtet haben, hat die complexe Cyanverbindung, obwohl sie in der 25fachen molecularen Concentration zur Einwirkung kam, in derselben Zeit noch über 6000 Keime entwicklungsfähig gelassen.

Tabelle 6.

Einwirkung von Silberverbindungen verschiedenen elektrolytischen Dissociationsgrades auf die vegetativen Formen von Staphylococcus pyogenes aureus.

Lösung	Zahl der Liter, in denen das der Formel entsprechende Moleculargewicht in Grammen gelöst ist	Procentgehalt der Lösung	Einwirkungsdauer: 3 Minuten. Zahl der keimfähig gebliebenen Staphylokokken
1. $AgNO_3$	200 Liter	0,08	0
2. CH_3COOAg . . .	200 „	0,08	0
3. $AgNO_3 + 2\,KCy$.	8 „	$AgNO_3$ 2,12 + KCy 1,62	6357

Aehnliches geht auch aus Tabelle 7 hervor, wo nicht nur noch mehr normal dissociirte Silbersalze zum Vergleich herangezogen wurden,

Tabelle 7.

Einwirkung von Silberverbindungen verschiedenen elektrolytischen Dissociationsgrades auf Sporen von Bacillus anthracis.

Lösung	Zahl der Liter, in denen das der Formel entsprechende Moleculargewicht in Grammen gelöst ist	Procentgehalt der Lösung	Einwirkungsdauer: 8 Stunden 45 Minuten. Zahl der keimfähig gebliebenen Sporen
1. $AgNO_3$	4 Liter	4,25	0
2. $AgClO_3$	4 „	4,79	0
3. $AgClO_4$	4 „	5,19	0
4. Ag_2SiFl_6	9 „	3,98	0
5. $C_6H_5SO_2 . OAg$ . .	4 „	6,62	0
6. $C_6H_4(OH) . SO_2OAg$	4 „	7,02	0
7. $AgNO_3 + 1{,}5\,Na_2S_2O_3$	4 „	$AgNO_3$ 4,25 + $Na_2S_2O_3$ 5,92	3627
8. „ + 2 KCy .	4 „	„ „ + KCy 3,25	3637
9. Argentamin, Silbergehalt	4 „	Ag 2,7	4200

sondern auch andere sehr wenig Silber-Ionen enthaltende complexe Verbindungen, das Silberthiosulfat und das sogenannte Argentamin, zur Einwirkung gelangten. Die letztgenannte Verbindung und ähnlich zusammengesetzte Präparate haben bekanntlich den Vorzug, bei ziemlich grossem Metallgehalt sehr mild auf die Schleimhäute einzuwirken und in die tieferen Schichten derselben einzudringen. Wie wir uns auf verschiedene Weise überzeugt haben, hängen diese in der Therapie sehr geschätzten Eigenschaften stets mit einer ausserordentlich geringen Concentration der Metall-Ionen in den Lösungen zusammen.

Die Untersuchung der Goldsalze ergab ähnliche für die complexen Cyanverbindungen charakteristische Beziehungen. (Vergleiche Tabelle 8.)

Tabelle 8.

Einwirkung von Goldverbindungen verschiedenen elektrolytischen Dissociationsgrades auf Sporen von Bacillus anthracis.

Lösung	Zahl der Liter, in denen das der Formel entsprechende Moleculargewicht in Grammen gelöst ist	Procentgehalt der Lösung	Einwirkungsdauer: 60 Minut.	Einwirkungsdauer: 33 Stund.
			Zahl der keimfähig gebliebenen Sporen	
1. $HAuCl_4$ . . .	10 Liter	3,40	5	0
2. $NaAuCl_4$ . . .	10 „	3,62	150	0
3. $NaAuCl_4 + 2\ NaCl$ (Auro-Natr. chlor. des deutschen Arzneibuches)	10 „	$NaAuCl_4$ 3,62 + NaCl 1,16	208	0
4. $HAuCl_4 + 5\ KCy$	10 „	$HAuCl_4$ 3,40 + KCy 3,25	unzählige	3300

Die Abhängigkeit der Desinfectionswirkung von der Concentration der Metall-Ionen in einer Lösung konnten wir auch noch auf andere Weise darthun. Obgleich das Quecksilberchlorid jedenfalls zu den am meisten dissociirten Mercuriverbindungen zählt, ist seine Dissociation im Verhältniss zu den Chloriden anderer Metalle, wie z. B. dem Natriumchlorid, sehr gering. Setzt man nun zu einem derartig schwach dissociirten Elektrolyten einen anderen gut dissociirten Elektrolyten, der mit jenem ein Ion gemeinschaftlich hat, so muss nach dem chemischen Massenwirkungsgesetz der Dissociationsgrad des schwachen Elektrolyten vermindert werden. Setzen wir also zu einer Quecksilberchloridlösung, welche ausser den Quecksilber-Ionen auch noch Chlor-Ionen enthält, das ebenfalls Chlor-Ionen abspaltende Kochsalz, so muss die Dissociation des Quecksilberchlorids zurückgehen. In Folge dessen muss die Concentration der Quecksilber-Ionen in der Lösung abnehmen und

damit auch, wenn unsere Annahmen richtig sind, deren Desinfectionswirkung.[1])

Tabelle 9.

Einwirkung einer wässrigen Lösung von Quecksilberchlorid mit steigendem Zusatz von Natriumchlorid auf Sporen von Bacillus anthracis.

Lösung	Zahl der Liter, in denen das der Formel entsprechende Moleculargewicht in Grammen gelöst ist	Procentgehalt der Lösung	Einwirkungsdauer: 6 Minuten. Zahl der keimfähig gebliebenen Sporen
1. $HgCl_2$	16 Liter	1,69	8
2. „ + 1 NaCl .	16 „	$HgCl_2$ 1,69 + NaCl 0,365	32
3. „ + 2 „ .	16 „	„ 1,69 + „ 0,73	124
4. „ + 3 „ .	16 „	„ 1,69 + „ 1,095	282
5. „ + 4 „ .	16 „	„ 1,69 + „ 1,46	382
6. „ + 4,6 „ . (Sublimatpastillen des deutschen Arzneibuches)	16 „	„ 1,69 + „ 1,68	410
7. $HgCl_2$ + 6 NaCl .	16 „	„ 1,69 + „ 2,19	803
8. „ + 10 „ .	16 „	„ 1,69 + „ 3,65	1087

In Tabelle 9 sind solche Versuche zusammengestellt. Mit steigendem Kochsalzgehalt vermindert sich thatsächlich die Desinfectionswirkung der Quecksilberchloridlösung ganz bedeutend. Diese Versuche sind auch praktisch von grossem Interesse, da in der Medicin sehr häufig mit Sublimatlösungen desinficirt wird, und weil es hierbei üblich ist, die Auflösung des Mercurichlorids, welche bei Zimmertemperatur nur träge vor sich geht, durch Zusatz relativ grosser Kochsalzmengen zu beschleunigen und die Bildung von Niederschlägen bei Herstellung von Lösungen mit nicht destillirtem Wasser zu beseitigen. Das deutsche Arzneibuch hat Sublimatpastillen vorgeschrieben, die Sublimat und Kochsalz zu gleichen Gewichtstheilen enthalten, welche Zusammensetzung ungefähr der Formel $HgCl_2$ + 4,6 NaCl in der Tabelle entspricht. Der Zusatz von Kochsalz wird auch hier deshalb gemacht, um das sich nur langsam lösende Sublimat in die leichter löslichen Natriumsalze der complexen Quecksilberchlorwasserstoffsäuren zu verwandeln. Dazu genügt aber im Allgemeinen ein Zusatz von 2 Molekeln NaCl auf 1 Molekel $HgCl_2$ oder für 1 Gewichtstheil $HgCl_2$ ca. 0,45 Gewichtstheile

1) Die Abnahme der Quecksilber-Ionen wird im vorliegenden Falle ausserdem noch durch die Bildung complexer Quecksilbersalze bedingt, wodurch sich die Verhältnisse etwas complicirter gestalten, als oben im Interesse einer elementaren Darstellung angegeben ist. Das Resultat ist aber für unsere Zwecke dasselbe.

Kochsalz. Der vorgeschriebene Mehrgehalt von 0,55 Gewichtstheilen hat in einer 16litrigen Lösung schon eine ziemlich erhebliche Verminderung der Desinfectionskraft zur Folge, die Zahl der entwicklungsfähig gebliebenen Sporen steigt von 124 auf 410. Wie sich aus theoretischen Ueberlegungen ergiebt, muss dieser Unterschied mit steigender Verdünnung abnehmen, und thatsächlich ist dies auch der Fall, wie aus Tabelle 10 ersichtlich ist. Bei einer 256litrigen Lösung, die ca. 1,1 g Sublimat im Liter enthält, welche also die bei den Desinfectionslösungen gebräuchliche Concentration darstellt, verschwindet dieser Unterschied fast ganz.

Tabelle 10.

Einwirkung von wässerigen Quecksilberchloridlösungen mit steigendem Zusatz von Natriumchlorid in verschiedenen Concentrationen auf Sporen von Bacillus anthracis.

Lösung	16 Liter = 1,69% $HgCl_2$		64 Liter = 0,42% $HgCl_2$		256 Liter = 0,11% $HgCl_2$	
	12 Min.	20 Min.	12 Min.	20 Min.	20 Min.	30 Min.
	Zahl der keimfähig gebliebenen Sporen					
1. $HgCl_2$	0	0	13	3	56	10
2. „ + 2 NaCl .	3	0	17	5	61	13
3. „ + 4,6 „ . (Sublimatpastillen des deutschen Arzneibuches.)	43	5	34	8	64	14
4. $HgCl_2$ + 10 NaCl .	469	328	103	42	120	16

Wie schon oben erwähnt wurde, spalten sämmtliche Säuren in wässeriger Lösung Wasserstoff-Ionen (H-Ionen) und sämmtliche Basen Hydroxyl-Ionen (OH-Ionen) ab, und diejenigen Säuren und Basen sind am „stärksten“, deren wässerige Lösungen bei gleicher molecularer Concentration die meisten H-Ionen, bezw. OH-Ionen enthalten. Es lag auch hier die Annahme nahe, dass die Desinfectionswirkung in gewisser Beziehung zur Concentration der Wasserstoff-Ionen, bezw. Hydroxyl-Ionen stehe, d. h. diejenige Säure und Base am stärksten desinficirt, welche am meisten dissociirt ist. Die in Tabelle 11 zusammengestellten Versuche geben ein ungefähres Bild von der Wirkung verschieden starker Säuren. Abgesehen von der Fluorwasserstoffsäure (HFl), Salpetersäure (HNO_3) und Trichloressigsäure ($CCl_3 . COOH$), denen eine specifisch giftige Wirkung zukommt, hängt die Desinfectionskraft der Säuren in der That mit deren Dissociationsgrad zusammen.

Die starken Säuren: Bromwasserstoffsäure, Salzsäure und Schwefelsäure, desinficiren sehr stark. Die Schwefelsäure, die man früher für

die stärkste Säure hielt, wirkt entsprechend ihrem geringeren Dissociationsgrade am schwächsten von den starken Säuren.

Weit geringer desinficiren die mittelstarken Säuren: Phosphorsäure, Ameisensäure und Essigsäure. Nach ihrer Giftwirkung stehen sie unter einander in derselben Reihenfolge, welche sie in Bezug auf ihren Dissociationsgrad einnehmen.

Die Blausäure, welche zu den schwächsten Säuren gehört und nur äusserst wenig dissociirt ist, hat auch nach 30 Stunden kaum merklich auf die Milzbrandsporen eingewirkt.

Tabelle 11.

Einwirkung starker, mittelstarker und schwacher Säuren (Säuren verschiedenen elektrolytischen Dissociationsgrades) auf Sporen von Bacillus anthracis.

Lösung	Zahl der Liter, in denen das der Formel entsprechende Moleculargewicht in Grammen gelöst ist	Procentgehalt der Lösung	Einwirkungsdauer: 30 Min.	120 Min.	5 Stdn. 25 Min.	8 Stdn. 15 Min.	30 Stdn. 30 Min.
			Zahl der keimfähig gebliebenen Sporen				
1. HFl . . .	1 Liter	2,0	139	0	0	0	0
2. HNO_3 . .	1 „	6,3	191	0	0	0	0
3. $CCl_3 . COOH$	1 „	16,35	243	0	0	0	0
4. HBr . . .	1 „	8,10	—	217	4	1	—
5. HCl . . .	1 „	3,65	—	385	38	5	—
6. H_2SO_4 . .	1 „	9,8	—	—	424	285	—
7. H_3PO_4 . .	1 „	9,8	—	—	—	1090	719
8. HCOOH . .	1 „	4,6	—	—	2500	2280	—
9. $CH_3 . COOH$	1 „	6,0	—	—	—	2780	—
10. HCy . . .	1 „	2,70	—	—	—	—	3020

Noch deutlicher tritt diese Erscheinung bei den Basen hervor, welche in Tabelle 12 nach Maassgabe ihrer Stärke oder, was dasselbe ist, nach ihrem Dissociationsgrade aufgeführt sind.

In derselben Reihenfolge steht auch die Desinfectionskraft, und wir sehen, dass die Unterschiede bei der Kalilauge, Natronlauge und Lithionlauge analog den nicht sehr erheblichen Unterschieden im Dissociationsgrade (77 Proc., 72 Proc. und 64 Proc.) nicht sehr gross sind, während das Ammoniak, welches in dieser Concentration eine ca. 200 mal schwächere Base ist, als die Kalilauge, auch noch nach 33 Stunden keine nennenswerthe Wirkung auf die Milzbrandsporen ausgeübt hat. Dasselbe zeigte sich, natürlich bei entsprechend verminderten Zeiten,

bei der Einwirkung auf die vegetativen Formen der Staphylokokken. (Vergl. Tabelle 13).

Tabelle 12.

Einwirkung von starken und schwachen Basen (Basen verschiedenen elektrolytischen Dissociationsgrades) auf Sporen von Bacillus anthracis.

Lösung	Zahl der Liter, in denen das der Formel entsprechende Moleculargewicht in Grammen gelöst ist	Procentgehalt der Lösung	Elektrolytischer Dissociationsgrad in Procenten	Einwirkungsdauer: 3 Stdn. 20 Min.	8 Stdn. 15 Min.	18 Stdn.	33 Stdn. 15 Min.
				Zahl der keimfähig gebliebenen Sporen			
1. KOH . .	1 Liter	5,60	77	585	31	0	0
2. NaOH . .	1 „	4,0	72	619	33	0	0
3. LiOH . .	1 „	2,4	64	778	44	0	0
4. $NH_4(OH)$.	1 „	3,5	0,4	unzählige			3500

Fast gleichzeitig und unabhängig von uns haben SCHEURLEN und SPIRO[1]) Versuche mit Quecksilber- und Eisenverbindungen angestellt, um die Beziehungen zwischen Dissociationsgrad und Desinfectionswirkung zu prüfen. Sie gelangten im Wesentlichen zu denselben Resultaten wie wir. Eine Reihe zum Theil sehr umfangreicher Untersuchungen verdanken wir ferner LOUIS KAHLENBERG und seinen Mitarbeitern, welche Salze, Säuren und Basen verschiedenen Disso-

Tabelle 13.

Einwirkung von starken und schwachen Basen (Basen verschiedenen elektrolytischen Dissociationsgrades) auf die vegetativen Formen von Staphylococcus pyogenes aureus.

Lösung	Zahl der Liter, in denen das der Formel entsprechende Moleculargewicht in Grammen gelöst ist	Procentgehalt der Lösung	Einwirkungsdauer: 5 Minuten	10 Minuten
			Zahl der keimfähig gebliebenen Staphylokokken	
1. KOH . . .	4 Liter	1,40	345	0
2. NaOH . . .	4 „	1,0	386	0
3. LiOH . . .	4 „	0,6	685	0
4. $NH_4(OH)$ . .	1 „	3,5	unzählige	unzählige

1) Ueber die gesetzmässigen Beziehungen zwischen Lösungszustand und Wirkungswerth der Desinfectionsmittel. Münchener medicin. Wochenschrift 1897, No. 4.

ciationsgrades auf Pflanzenkeime einwirken liessen und die Concentration der Lösungen bestimmten, welche diese Keime innerhalb einer gewissen Zeit abtödteten.[1]) Auch bei diesen Versuchen liess sich unzweideutig ein Zusammenhang zwischen Dissociationsgrad und Wirkung der Stoffe nachweisen. Zu weniger befriedigenden, ja, zu entgegengesetzten Resultaten führten die Untersuchungen von H. L. STEVENS[2]) und von J. F. CLARK[3]), welche die schwächste Concentration verschiedener Lösungen bestimmten, die genügt, um die Entwicklung von Schimmelpilzen zu verhindern. Wie ich schon an anderer Stelle[4]) eingehend dargelegt habe, lässt sich aber die entwicklungshemmende Wirkung nicht für unsere Zwecke verwenden, da bei dieser die Zeit der Einwirkung nicht in Betracht kommt und nur die Gesammtconcentration des in Lösung befindlichen Stoffes ohne Rücksicht auf seine Dissociation maassgebend ist. Mit dieser Anschauung steht die von B. KRÖNIG und mir beobachtete Thatsache im Einklang, dass das Quecksilbercyanid und andere complexe Quecksilberverbindungen gerade so stark entwicklungshemmend auf Milzbrandsporen einwirken, wie das Sublimat, während die keimtödtende Wirkung die oben erwähnten grossen Unterschiede aufweist.

Mit Rücksicht auf die zahlreichen Abhandlungen der jüngsten Zeit, welche die Anwendung der Ionen-Theorie auf physiologische Vorgänge betreffen, möge auch an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass man bei der Deutung von Versuchen an höher organisirten Lebewesen und besonders beim Thierexperiment mit grosser Vorsicht zu Werke gehen muss, da hierbei noch andere Factoren, als lediglich der Dissociationsgrad der Stoffe und die Eigenschaften ihrer Ionen in Betracht kommen. Dies beweisen schon die oben erwähnten, mit Fröschen und Fischen angestellten Versuche DRESER's. So werthvoll auch die Aufklärungen sind, welche wir der Ionen-Theorie in Bezug auf die Constitution und die physiologische Wirkung der Lösungen verdanken, und so vielseitig auch die Anwendungen der sich darauf aufbauenden Untersuchungsmethoden sind: sie können nur dann zum Fortschritt unserer Naturerkenntniss beitragen, wenn von Fall zu Fall sorgfältig geprüft wird, welche Stoffe an der Reaction betheiligt sind, und ob auch thatsächlich das gemessen wird, was gemessen werden soll.

Leider macht sich in neuerer Zeit, besonders in Deutschland, die

1) LOUIS KAHLENBERG und RODNEY H. TRUE, Ueber die Giftwirkung gelöster Salze und ihre elektrolytische Dissociation. Botanical Gazette 1896. Vol. XXII p. 81. — E. D. HEALD, Ueber die Giftwirkung verdünnter Lösungen von Säuren und Salzen auf Pflanzen. Ebenda p. 125.

2) H. L. STEVENS, Die Wirkung wässeriger Lösungen auf die Keimung von Pilzsporen. Botanical Gazette **26**, 377—406 (1898).

3) J. F. CLARK, Elektrolytische Dissociation und toxische Wirkung. Journ. Phys. Chem. **3**, 263—316; Botanical Gazette **28**, 289—327; 378—404 (1899).

4) Zeitschrift für physikalische Chemie. **37**, 754 (1901).

Unsitte geltend, die physikalisch-chemischen Theorien für die Anpreisung von Heilmitteln aller Art zu verwenden. So findet man z. B. in den Anzeigen der Badeorte Angaben über den osmotischen Druck der Heilquellen in Atmosphären und über die elektrische Leitfähigkeit derselben in reciproken Ohm; ja, man ist so weit gegangen, die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen eines Salzes als Maassstab für seine Heilwirkung zu benutzen. Durch solche und ähnliche Gepflogenheiten kann und muss die Bedeutung der neueren Anschauungen in Misscredit gebracht werden.

Dass es möglich ist, die Ionen-Theorie auch für die Physiologie der Thiere und des Menschen verwerthbar zu machen, haben u. A. auch die schönen Untersuchungen von JACQUES LOEB gezeigt, auf welche leider hier nicht näher eingegangen werden kann.

Die Bedeutung der Ionen-Theorie für die physiologische Chemie lässt sich in folgenden Sätzen zusammenfassen: Die Ionen-Theorie in Verbindung mit den anderen neueren physikalisch-chemischen Theorien ermöglicht uns einen weitgehenden Einblick in die Constitution der Lösungen. Sie gestattet eine einheitliche Auffassung der Reactionen, welche in den Lösungen von Säuren, Basen und Salzen — also der Mehrzahl der bei physiologisch-chemischen Vorgängen in Frage kommenden Stoffe — vor sich gehen. Sie giebt uns Aufschluss über die in diesen Lösungen herrschenden Gleichgewichte nicht nur in qualitativer, sondern auch in quantitativer Beziehung. Sie lehrt uns die Zusammensetzung von Lösungen kennen, bei welchen unsere bisherigen analytischen Hülfsmittel versagten, sie eröffnet uns neue Gesichtspunkte zur Beurtheilung der physiologischen Wirkung der Stoffe und zeigt uns schliesslich den Weg, neue Verbindungen mit bestimmten Eigenschaften darzustellen. Dieser Bedeutung hat WILHELM OSTWALD in folgenden schönen Worten Ausdruck verliehen, mit denen ich meine Ausführungen schliessen will[1]): „Die chemische Physiologie ist von allen Gebieten der angewandten Chemie vielleicht dasjenige, welches die erheblichste und folgenreichste Befruchtung durch die Entwicklung der allgemeinen Chemie erfahren wird. Zum Verständniss der chemischen Vorgänge des Organismus reicht die Kenntniss der Stoffe nicht aus und gehört so wesentlich die Kenntniss der Werdevorgänge, dass in der That vor der allgemeinen Aufstellung der letzteren, wie sie uns die letzten Jahre gebracht haben, an eine wirklich wissenschaftliche Bearbeitung der chemisch-biologischen Probleme gar nicht gedacht werden kann. Der Physiologe, der die gegenwärtig vorhandene Erkenntniss der allgemeinen Chemie auf sein Gebiet anwendet, wird die Physiologie einen Schritt thun lassen, der an Bedeutung dem durch LIEBIG gethanen nicht nachstehen wird."

1) Zeitschrift für physikalische Chemie. **23**, 708 (1897).

4.

Die Bedeutung der Ionentheorie in der klinischen Medicin.

Von

W. His jun.-Dresden.

Der menschliche und thierische Körper besteht in all' seinen lebenswichtigen Organen aus halbfesten Elementen, die von Flüssigkeiten allseitig umspült und durchtränkt werden. Zwischen diesen Elementen, den Zellen, und der umgebenden Flüssigkeit findet ein fortwährender Austausch von Wasser und gelösten Stoffen organischer und unorganischer Art statt. Dieser Austausch folgt z. T. physikalischen Gesetzen, z. T. wird er bestimmt durch die Lebensthätigkeit der Zellen.

Dieser letztere Ausdruck bedarf einer Erläuterung.

In diesen zu betrachtenden Wechselbeziehungen können die Zellen eine passive Rolle spielen, die lediglich durch ihre physikalische Beschaffenheit, ihre Structur, bestimmt wird; sie können aber auch activ eingreifen, unter Verbrauch einer gewissen Energie, die aus dem Stoffwechsel der Zelle entsteht. Diese activen Lebensvorgänge können wir indessen von den passiven nicht scharf trennen, weil mit dem Tod der Zelle immer eine Aenderung der physikalischen Structur einhergeht. Wir bezeichnen daher als Lebensvorgänge diejenigen Processe, deren Nachahmung an unbelebten Gebilden bisher nicht gelungen ist.

Soweit die Zellen durch ihre lebendige Thätigkeit den physikalischen Kräften entgegenwirken, leisten sie eine Arbeit, deren Grösse als Maass ihrer functionellen Leistung dienen kann. Verlieren sie durch Erkrankung das Vermögen, diese Arbeit zu leisten, so müssen die Austauschbeziehungen und damit die Zusammensetzung der Zellen sowohl, wie der Körperflüssigkeiten eine Aenderung erfahren.

Den Antheil, den die Lebensvorgänge und die physikalischen Kräfte an solchen Aenderungen nehmen, zu bestimmen, wird um so schärfer möglich sein, je genauer die im Organismus wirksamen physikalischen Kräfte bekannt werden.

Daher die gewaltige Förderung, welche die Medicin durch die Einführung der so ausserordentlich fruchtbaren Theorie der Lösungen von van 't Hoff und der Dissociationstheorie von Arrhenius erfahren hat.

Besonders begünstigt wurde die Anwendung dieser Theorien in der Medicin durch die Handlichkeit der Bestimmungsmethoden, welche da Resultate zu liefern beginnen, wo das Gebiet der bisher allein geübten chemischen Analyse endet.

Die Medicin hat sich dieser Anschauungen und Methoden mit Eifer bemächtigt und eine Summe von Arbeit geleistet, deren Hauptergebnisse, soweit sie das Verständniss krankhafter Vorgänge betreffen, kritisch zusammengefasst werden mögen. Von vorn herein sei bemerkt, dass das Gebiet keineswegs abgeschlossen ist; vielmehr sind durchweg nur die Grundlagen errichtet, auf denen die künftige Untersuchung weiter zu bauen hat.

Die physikalische Chemie lehrt, dass gewisse Eigenschaften einer Lösung unabhängig von der Art des gelösten Stoffes, einzig durch die Zahl der in der Volumeneinheit gelösten Molecüle bestimmt sind, und dass die Bestandtheile, in welche die Elektrolyte in wässriger Lösung zerfallen, die Ionen, in dieser Beziehung den Molecülen gleichwerthig sind.

Zu diesen Eigenschaften gehört der Gefrierpunkt und, was für die Wechselbeziehungen im Körper vor Allem wichtig, der osmotische Druck, den wir nach van 't Hoff's Vorgang als Ursache der Diffusionsvorgänge ansehen müssen.

Diese letzteren wollen wir, als die dem Wechselaustausch im Körper zu Grunde liegende physikalische Kraft, unseren Betrachtungen hauptsächlich zu Grunde legen. Die Gesetze der Osmose und Diffusion sind aber erst durch die Theorie der elektrolytischen Dissociation, durch die Aufstellung des Ionenbegriffes verständlich geworden. Daher rührt der Einfluss, den die Ionentheorie auf unsere medicinischen Anschauungen ausgeübt hat.

Als Heidenhain[1]) im Jahre 1894 die alte Frage von den Kräften, welche die Resorption im Dünndarm bewirken, von Neuem in Angriff nahm, stellte er sich auf den Boden der neu gewonnenen Anschauungen und eröffnete seine Arbeit mit folgenden anerkannten physikalischen Sätzen:

1. Sind wässrige Lösungen von gleicher endosmotischer Spannung durch eine Diffusionsmembran getrennt, so findet eine Volumenänderung der Flüssigkeit nicht statt.

2. Befinden sich auf beiden Seiten der Membran Lösungen von ungleicher Spannung, so geht Wasser von der Seite der geringeren Spannung nach der anderen Seite über.

3. Die endosmotische Spannung eines Lösungsgemenges ist gleich

1) Heidenhain, Neue Versuche über die Aufsaugung im Dünndarm. Pflüger's Archiv 56, S. 579, 1894.

der Summe der Partiarspannungen der einzelnen gelösten Bestandtheile.

4. Befinden sich auf beiden Seiten der Membran Lösungen von gleicher Gesammtspannung, aber ungleicher Partiarspannung der gelösten Bestandtheile, so geht jeder Bestandtheil der Lösung von der Seite, auf der er die höhere Partiarspannung hat, nach der anderen Seite über, bis die beiderseitigen Partiarspannungen sich ausgeglichen haben; eine Aenderung der Volumina findet nicht statt.

Indem er nun in isolirte Darmschlingen verschiedene Flüssigkeiten brachte und deren Verhalten beobachtete, schloss er: Findet eine Resorption entgegen den genannten physikalischen Gesetzen statt, so kann sie nur durch die Thätigkeit der lebenden Darmwand bewirkt sein.

Er fand, dass Serum, welches dieselbe osmotische Spannung besass, wie das Blut des Versuchsthieres, ebenso aus dem Darm resorbirt wurde, wie eine hyperisotone Kochsalzlösung, die nach seinen Voraussetzungen eigentlich Wasser hätten anziehen, oder eine hypisotone Lösung, die dem Blut hätte Kochsalz entziehen müssen. Alle Resorptionsvorgänge wurden enorm verzögert, wenn das Epithel des Darms durch Fluornatrium, ohne sichtbare anatomische Störung, vergiftet wurde. Aus Alledem schloss HEIDENHAIN, dass die Resorption, da sie entgegen den physikalischen Gesetzen vor sich gehen könne, nur unter Beihülfe der lebendigen Zellthätigkeit möglich sei.

Diese grundlegende HEIDENHAIN'sche Arbeit ist der Ausgangspunkt einer lebhaften Controverse geworden, die bis heute noch nicht abgeschlossen ist. Noch immer dreht sich der Streit darum, ob und wie weit die Resorptionserscheinungen auf physikalischem Wege zu erklären seien.

Die schönen Untersuchungen von HAMBURGER [1]), KÖVESI [2]), HÖBER [3]), COHNHEIM [4]) u. A. haben zunächst bestätigt, dass im Darm

1. iso-, hypo- und hypertonische Lösungen resorbirt werden,
2. hyper- und hypotonische Lösungen während der Resorption annähernd isotonisch werden.

Bei der Discussion der Resultate ist zu bedenken, dass die Aehn-

1) HAMBURGER, Archiv für Anatomie und Physiologie, Physiologische Abtheilung. 1896, S. 36 und 126. Centralbl. f. Physiologie. 1896, Nr. 22.

2) KÖVESI, Centralbl. f. Physiologie. 1897, S. 553.

3) HÖBER, Ueber Resorption im Dünndarm. Pflüger's Archiv. 70, S. 624, 1898 und 74, S. 246, 1899.

4) COHNHEIM, Ueber die Resorption im Dünndarm und in der Bauchhöhle. München, Oldenbourg. 1898.

Ueber Dünndarmresorption. Ztschr. f. Biologie. Bd. 39.

lichkeit der Diffusionsverhältnisse an todten Membranen mit den Resorptionsvorgängen im Darm durchaus noch nicht den Schluss auf Gleichheit der wirksamen Kräfte zulässt. Heidenhain hat das in ein anschauliches Bild gekleidet. Wenn Jemand, sagt er, am Ufer eines Flusses stehend, ein Holzfloss und ein Dampfschiff sich stromabwärts bewegen sieht, mag er zunächst geneigt sein, beider Bewegung derselben Kraft, der Strömung des Wassers, zuzuschreiben. Erst die genauere Betrachtung lehrt, dass dem Dampfschiff Kräfte zu eigen sind, die es von der Strömung unabhängig machen; es kann seinen Lauf flussabwärts beschleunigen oder verlangsamen, ja selbst umkehren und dem Strom entgegenfahren. So sind die vitalen Kräfte im Organismus von den physikalischen nur durch quantitative Verfolgung des Resorptionsvorganges zu trennen.

Die Discussion der bisher angeführten Argumente ergiebt Folgendes:

Als Wirkung physikalischer Kräfte ist zunächst zu denken an die Filtration, d. h. den Durchtritt des Salzes mitsammt dem Lösungsmittel durch den hydrostatischen Druck. Die Bedeutung der Filtration hat namentlich Hamburger hervorgehoben. Doch ist zu bemerken, dass wenigstens die Filtration eiweisshaltiger Lösungen durch lebende Membranen ungeheure Drucke erfordert, während sie durch todte Membranen freilich weit leichter erfolgt. Es mag zugegeben werden, dass die durch die Peristaltik hervorgebrachten Druckverhältnisse im Darm in den Untersuchungen der letzten Jahre nicht die nöthige Berücksichtigung gefunden haben.

Neben der Filtration kommt der Diffusion jedenfalls die überwiegende Bedeutung zu. In mancher Beziehung gleicht der resorbirende Darm einer todten Membran: Lösungen, die zum Blutserum hyper- oder hypisotonische waren, werden während der Resorption isotonisch. Lösungen verschiedener Salze von gleicher molecularer Concentration werden mit verschiedener Geschwindigkeit resorbirt, und zwar geht die Resorptionsgeschwindigkeit parallel mit der Diffusionsgeschwindigkeit bei freier Diffusion.

Da die Salze in verdünnten Lösungen fast völlig in Ionen zerfallen sind, muss die Resorptions- und Diffusionsgeschwindigkeit der Ionen verglichen werden, und da zeigt sich denn, dass unter den Kationen Natrium, Kalium und Lithium ungefähr gleich schnell, Ammonium (und ebenso Harnstoff) viel schneller, Calcium und Magnesium viel langsamer resorbirt werden.[1])

Von den Anionen wird am schnellsten Chlor resorbirt, dann folgen in abnehmender Reihe Brom, Jod, NO_3 und SO_4.

Ganz vollkommen ist indessen der Parallelismus nicht; Wallace

---

1) R. Höber, Pflüger's Archiv. 70, S. 624, 1898.

und Cushny[1]) machen z. B. darauf aufmerksam, dass essigsaures Natron langsam diffundirt, aber sehr rasch resorbirt wird.

Immerhin geben diese physikalischen Erscheinungen einen Einblick in die vielbesprochene Wirkungsweise der abführenden Mittelsalze: die Vereinigung der beiden am langsamsten diffundirenden Ionen Magnesium und Schwefelsäure zeigt auch die intensivste abführende Wirkung.

In anderer Beziehung aber unterscheidet sich die Darmwand sehr wesentlich von einer todten Membran. Die Darmwand lässt zwar Wasser, Salze, Traubenzucker und andere organische Stoffe vom Darm nach dem Blute hinübertreten, vom Blut nach dem Darm aber lässt sie unter Umständen zwar Wasser, niemals aber andere Blutbestandtheile (Kochsalz, Eiweiss u. s. w.) durch; erst wenn das Epithel durch hochconcentrirte Salzlösungen geschädigt ist, erscheint Eiweiss im Transsudat, und wird sie durch Fluornatrium gelähmt, auch Salze. Der todte Darm endlich verhält sich einer künstlichen Membran, wenn nicht gleich, so doch sehr ähnlich.

Die Eigentümlichkeit der lebenden Darmwand besteht also darin, dass sie gegenüber dem ein- und austretenden Diffusionsstrom eine Richtungsorientirung zeigt. Ist nun diese Orientirung ein Ausdruck lebendiger Thätigkeit?

An sich ist ja nicht undenkbar, dass die besondere Structur der Darmwand, an welcher Epithel, Kittsubstanz und Gefässendothelien als resorbirende Flächen in Betracht kommen, für die Besonderheit der Resorption maassgebend sein könne, doch sind präcise Vorstellungen hierüber bisher nicht möglich.

Eine weitere physikalische Erklärungsmöglichkeit der Resorption hat indessen Oker-Blom[2]) kürzlich in sehr geistreicher Weise erläutert.

Schon Heidenhain hatte betont, dass nicht nur der Gesammtdruck der Lösungen, sondern auch der Theildruck der verschiedenen gelösten Bestandtheile beim Diffusionsvorgang allmählich ausgeglichen werden muss. Ist nun eine Wand für einen der gelösten Bestandtheile undurchlässig, dann kann wohl der Gesammtdruck auf beiden Seiten gleich werden, niemals aber der Theildruck; denn dieser muss auf Seite des nicht durchtretenden Bestandtheils für diesen stets ein Ueberdruck sein. Unter solchen Bedingungen aber, zeigt Oker-Blom, vermag die Lösung eines nicht diffundirenden Körpers selbst eine

1) Wallace und Cushny, Ueber Darmresorption und salinische Abführmittel. Pflüger's Archiv. 77, S. 202, 1899.

2) Oker-Blom, Die Resorptions- und Secretionsvorgänge im Allgemeinen. Pflüger's Archiv. 85, S. 543.

weit concentrirtere Lösung eines diffundirenden Körpers auf ihre Seite zu ziehen.

Die Rolle des nicht passirenden Stoffes spielen im Blute die Eiweisskörper des Serums, deren Theildruck, wenngleich sehr klein, so doch von endlichem Werthe ist (ca. 6 mm nach Tammann).[1])

Jede Flüssigkeit, die in den Darm gelangt, wird durch Austausch der diffusiblen Bestandtheile zunächst isotonisch. Dass aber aus der Isotonie, d. i. der Gleichheit des osmotischen Gesamtdruckes, eine Homotonie, d. i. die Gleichheit der Theildrucke, wird, das verhindern die Eiweisskörper; sie sind die Ursache, dass auch nach Eintritt der Isotonie ein beständiger Diffusionsstrom vom Lumen nach den Gefässen stattfinden muss. Dabei schafft das Blut den Traubenzucker alsbald weiter, so dass für diesen das Blut während der Verdauung stets hypisotonisch ist; in derselben Weise treten die leicht diffundirenden Verdauungsproducte des Eiweisses, die Albumosen und Peptone, aus dem Lumen aus; der ganze Resorptionsprcoess ist nach Oker-Blom rein physikalisch erklärlich, und die lebendige Thätigkeit der Darmwand beschränkt sich darauf, die Albumosen und Peptone in Eiweisskörper zurückzuverwandeln, für welche die Darmwand undurchgängig ist, so dass sie vom Blute nach dem Darmlumen nicht wieder zurückdiffundiren können.

Ob damit in dieser Frage das letzte Wort gesprochen ist, mag dahingestellt sein. Jedenfalls hat Höber[2]) Recht, wenn er darauf hindeutet, dass „der Diffusionsprocess schon schwer zu entziffern ist, wenn nur zwei Salze in Lösung enthalten sind. Wie viel complicirter müssen sich die Processe gestalten, wenn Lösungen vieler Salze in einem keineswegs homogenen Medium durch Membranen von verwickelter Structur zu einander in Beziehung treten.“ Demgemäss ist die praktische Bedeutung der am Darm gewonnenen Ergebnisse noch gering und beschränkt sich auf ein besseres Verständniss der abführenden Wirkung der Mittelsalze. Grundlegend ist aber deren Wichtigkeit für das Verständniss der Resorptionsvorgänge überhaupt gewesen, und daher hielt ich es für angebracht, auf diese Untersuchungen etwas ausführlicher einzugehen.

Lebhaft wird man sich noch des Staunens erinnern, das die Untersuchungen v. Mering's[3]) hervorriefen. Der Magen, den man bisher als

1) Tammann, Ztschr. für physiologische Chemie. 43, S. 184, 1898.

2) Höber, Ueber Concentrationsänderungen bei der Diffusion zweier gelösten Stoffe gegen einander. Pflüger's Archiv. 74, S. 225, 1899.

3) v. Mering, Verhandlungen des XII. Congresses für innere Medicin. 1893, S. 471.

Resorptionsorgan betrachtete, zeigt sich ausser Stande, reines Wasser aufzusaugen; nach Aufnahme concentrirter Salzlösungen sonderte er sogar erhebliche Wassermengen ab. Mering betonte, dass „die Resorption von Alkohol, Kohlehydraten, Pepton und Kochsalz im Magen, im Gegensatz zu der Resorption im Darm, an den physikalischen Process der Diffusion erinnert". Winter[1]) in Paris hat zuerst den Magensaft vom Standpunkt der Lösungstheorie betrachtet; dann erschienen annähernd gleichzeitig ausgedehntere Untersuchungen von Pfeiffer und Sommer[2]) aus der Grazer Klinik und von Strauss und Róth[3]) aus Senator's Klinik; seitdem hat namentlich letztere Klinik nicht aufgehört, am Ausbau des Fundaments emsig fortzuarbeiten.

Da zeigt sich nun, dass zwischen Blutflüssigkeit und Mageninhalt ein Wechselaustausch stattfindet, der sich von dem des Darms dadurch unterscheidet, dass nicht nur Wasser, sondern auch Salze vom Blut nach dem Magen abgegeben werden. Eingebrachte Flüssigkeiten, gleichviel, ob reines Wasser, hyper- oder hypotonische Salzlösungen, werden durch den Wechselaustausch so verändert, dass sie einen bestimmten osmotischen Druck annehmen. Der Werth dieses Druckes schwankt innerhalb gewisser Grenzen, ist jedoch durchgehends niedriger, als der des Blutserums. Diese Thatsache steht, trotz der entgegengesetzten Angaben von Pfeiffer und Sommer, nach den Untersuchungen von Winter, Strauss und seinen Schülern fest. Zweck und Ursache dieses Verhaltens sind noch dunkel. Offenbar ist aber damit ein Optimum für die Verdauungs- und Resorptionsarbeit gegeben; erst nach Einstellung auf diesen Werth beginnt die Abscheidung von Salzsäure und die Resorption.

Ob die Hypisotonie des Mageninhalts entgegen physikalischen Kräften durch die vitale Thätigkeit des Magenepithels erreicht wird, wie Strauss meint, möchte ich dahingestellt sein lassen; die Versuchsdauer ist nothgedrungen eine kurze; die Flüssigkeiten verweilen kurze Zeit im Magen, das Endstadium des Wechselaustausches wird nicht erreicht, und es möchten vorübergehende Druckdifferenzen, nach R. Höber[4]), auf rein physikalischem Wege entstehen; jedenfalls bedarf dies noch genauer Untersuchung.

---

1) J. Winter, Constance du point de congélation de quelques liquides de l'organisme. Cpt. rend. de l'Académie de Paris 1895. p. 696 und Archives de Physiologie 1896. p. 287.

2) Pfeiffer und Sommer, Ueber die Resorption wässriger Salzlösungen aus dem menschlichen Magen unter physiologischen und pathologischen Verhältnissen. Archiv für experimentelle Pathologie. **43**, S. 93, 1899.

3) W. Róth und H. Strauss, Untersuchungen über den Mechanismus der Resorption und Secretion im menschlichen Magen. Zeitschr. für klinische Medicin. **37**, S. 144, 1899.

4) Höber, Pflüger's Archiv. **74**, S. 225, 1899.

Sehr vielversprechend ist der Aufschluss, den diese Untersuchungen über den Einfluss der **Mineralwässer** auf den Magen ergeben.[1])

Der osmotische Druck der gebräuchlichen Mineralwässer ist nach Menge und Art der gelösten Bestandtheile äusserst verschieden; die Gefrierpunktserniedrigung wechselt von unmessbarer Kleinheit bis zu 1 Grad und darüber.

Es zeigt sich nun, dass, wie nach dem Verhalten der Salzlösungen zu erwarten war, stark **hypisotone** Wässer (z. B. die Tafel- und Eisenwässer) dem Blut Salze entziehen; sie werden sehr rasch im Magen resorbirt, und die Salzsäureproduction beginnt bald; umgekehrt entziehen stark hypertonische Wässer dem Blut Wasser, verweilen lange und verzögern die Salzsäureabscheidung.

Künstliche Mineralwässer, durch Auflösen von Salzgemischen erzeugt, zeigen ganz andere Werthe des osmotischen Druckes, als ihre natürlichen Vorbilder. Eine genaue Discussion dieser Erscheinungen ist heute noch nicht möglich, doch ist nicht ausgeschlossen, dass mit der Zeit sich hieraus ein tieferer Einblick in das Wesen und die Wirkungsweise der Trinkkuren ergeben wird.

Sicher steht, dass wir am Magen künftig dreierlei Absonderungen unterscheiden müssen, nämlich

1. die durch **Diffusion** entstehende Salz- und Wasserabsonderung,
2. die **Verdünnungssecretion**,
3. die **specifische Secretion** von Fermenten und Salzsäure.

Die Untersuchungen von Strauss zeigen nun, dass die **specifische Secretion** von den anderen beiden Vorgängen ganz unabhängig ist, und dass sie bei Erkrankungen des Magenepithels allein verändert wird; wenigstens nehmen Verdünnungssecretion und Diffusion genau denselben Verlauf an Mägen, die völlige Achylie, als bei solchen, die continuirlichen Magensaftfluss aufweisen.

Der Process der **Salzsäurebildung** ist bekanntlich ein altes vielfach behandeltes Problem der Physiologie. Nach der älteren Anschauung entsteht die Salzsäure aus den Chloriden des Blutes und soll nach Bunge durch die Blutkohlensäure nach dem Gesetz der Massenwirkung in Freiheit gesetzt werden. Neuere Versuche scheinen aber für

---

1) v. Kostkewitz, Die Gefrierpunktserniedrigung der verschiedenen Mineralwässer im Vergleich zu derjenigen des Blutes. Therapeut. Monatshefte 1899, November. H. Strauss, Ueber Beziehungen des Gefrierpunktes von Mineralwässern zur Motilität und Secretion des Magens. Ebenda S. 582: Auffallend ist, dass in diesen Mittheilungen sich keinerlei Angaben finden über die Methode, nach welcher der Einfluss der in den Wässern enthaltenen Gase auf den Gefrierpunkt ausgeschaltet wurde.

eine Betheiligung der Chloride des Mageninhaltes zu sprechen. Darauf gründet H. Köppe[1]) seine Theorie der Salzsäureabscheidung.

Das Kochsalz des Magens ist gespalten in Natrium- und Chlorionen, für erstere ist die Magenwand durchlässig, für letztere undurchlässig. Aus dem Blute treten Wasserstoffionen, durch Dissociation des Wassers entstanden, nach dem Magen. Dieser enthält somit Chlor- und Wasserstoffionen, d. h. die Bestandtheile der freien Salzsäure.

Diese Theorie verlegt die Bildung der Salzsäure also nicht in das Epithel, sondern an dessen freie Oberfläche. Sie ist aber keineswegs haltbar. Abgesehen davon, dass die Anwesenheit von Chloriden im Magen noch nicht zur Production von Salzsäure führt (Beispiele bei Pawlow: Die Arbeit der Verdauungsdrüsen, und bei Strauss, l. cit.), erklärt Köppe in keiner Weise den Einfluss der nervösen Reizung auf die HCl-Absonderung, und völlig widerlegt wird die Theorie durch die bekannten Versuche Pawlow's, in denen ein frei nach aussen mündender Blindsack des Magens, der doch gar keinen Inhalt birgt, auf nervöse und directe Reize reichlich salzsäurehaltiges Secret producirt.[2])

Wir werden also die specifische Absonderung der Magenschleimhaut vorerst noch für einen vitalen Process der secernirenden Zellen halten müssen.

Mehrfach haben wir das osmotische Verhalten des Bluts[3]) berührt, und es ist Zeit, uns diesem ausführlicher zuzuwenden, um so mehr, als gerade sie Untersuchungen über die Blutkörperchen auf die Bedeutung der van 't Hoff'schen Lösungstheorie für die Medicin zu allererst geführt und Ergebnisse gezeigt haben, die für das osmotische Verhalten der Blutkörperchen nicht allein, sondern des thierischen Protoplasmas überhaupt die wichtigsten Aufschlüsse gegeben haben.

Die Untersuchung des osmotischen Druckes im Blut ist sehr einfach: 15—20 ccm Blut, mittelst Pravazspritze aus einer Armvene entnommen, genügen zu einer Gefrierpunktsbestimmung; das Blut braucht keineswegs frisch zu sein; tagelanges Stehen im Eisschrank, Trennung von Körperchen und Serum ändert den Gefrierpunkt nicht, selbst zerstossenes Coagulum ist zu Untersuchungen brauchbar.[4])

1) Köppe, Ueber den osmotischen Druck des Blutplasma und die Bildung der Salzsäure im Magen. Pflüger's Archiv. **62**, S. 567, 1896 und „Physikalische Chemie in der Medicin". Wien 1900, S. 105 ff.

2) S. a. Wesener, Ueber Köppe's Theorie der Salzsäurebildung im Magen. Pflüger's Archiv. **77**, S. 483, 1899.

3) Die zahlreichen Arbeiten Hamburger's, Hedin's, Köppe's u. A. sind zusammengestellt in Köppe, Physikalische Chemie in der Medicin. 1900. S. 163 ff.

4) Krönig und Füth, Vergleichende Untersuchungen über den osmotischen Druck im mütterlichen und kindlichen Blut. Monatschr. f. Geburtshülfe und Gynäkologie. XIII. S. 1. 1901.

Die Grösse der Gefrierpunktserniedrigung ist bei verschiedenen Individuen und unter verschiedenen Verhältnissen sehr constant und bewegt sich mit geringen Abweichungen um $^{56}/_{100}$ Grad.

Schwieriger ist schon die andere Methode zur Bestimmung der molecularen Concentration, die Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit[1]), zu handhaben, nicht wegen ihrer Ausführung, sondern wegen der Deutung der Resultate, weil hierbei neben der Concentration die moleculare Leitfähigkeit der gelösten Elektrolyte berücksichtigt werden muss, und weil die Anwesenheit nichtleitender Stoffe, wozu die rothen Blutkörperchen gehören, das Leitvermögen merklich beeinflusst.

Gerade die Verbindung der beiden Methoden hat aber in die Zusammensetzung des Blutes Einblicke gewinnen lassen, die auf andere Weise nicht möglich gewesen wären.

Der osmotische Druck des Blutes wird, da die Eiweisskörper bei der Grösse ihrer Molecüle denselben kaum merklich beeinflussen, andere organische Stoffe aber nur in minimaler Concentration vorhanden sind, fast ausschliesslich durch die Salze des Bluts bedingt, und unter diesen spielen das Chlornatrium und das Natriumcarbonat die Hauptrolle.

Aufnahme von Nahrung und Flüssigkeit, Wasserverluste, selbt ausgesprochene Circulationsstörungen beeinträchtigen den osmotischen Druck nur, wenn sie extreme Grade erreichen, und es bedarf sehr hochgradiger Veränderungen in der Zusammensetzung des Blutes, schwerer Bildungsanomalien oder Nierenerkrankungen, um erhebliche und dauernde Abweichungen des osmotischen Druckes zu bewirken.

Der Zweck dieser Constanz ist leicht zu erkennen; jede Veränderung der osmotischen Blutspannung müsste zu eingreifender Aenderung des gesammten Austausches mit dem Gewebe führen.

Die Ursachen aber, welche diese Constanz bewirken, liegen ebenfalls in den engen Wechselbeziehungen des Blutplasmas zu den umgebenden Theilen, und da kommen als Regulatoren die rothen Blutkörperchen, die Capillarendothelien und die resorptiven und secretorischen Apparate des Körpers in Betracht, unter welchen den Nieren die Hauptthätigkeit zufällt.

Die rothen Blutkörperchen sind mit dem Plasma isotomisch und müssen es sein, da jede Differenz alsbald durch Diffusionsaustausch gehoben wird.

---

1) Tangl und Bugarsky, Physikalisch-chemische Untersuchungen über die molecularen Concentrationsverhältnisse des Blutserums. Pflüger's Archiv. **72**. S. 531, 1898.

Oker-Blom, Thierische Säfte und Gewebe in chemisch-physikalischer Beziehung. Pflüger's Archiv. **79**, S. 111, S. 510 und **81**, S. 167, 1900.

Das Studium dieser Erscheinungen hat ergeben, dass die Substanz der rothen Blutkörperchen die Eigenschaft einer semipermeablen Membran hat, d. h. für einzelne Stoffe leicht, für andere schwer durchgängig, ja fast undurchgängig ist; und was den Werth dieser in höchst sorgfältiger Weise von Hamburger, Hedin, Köppe u. A. durchgeführten Untersuchungen erhöht, ist, dass die für die rothen Blutkörperchen gefundenen Eigenschaften für alle anderen thierischen Zellen ebenso Geltung haben; selbst das Protoplasma pflanzlicher Zellen verhält sich, wie die von de Vries, Overton u. A. verfolgten Erscheinungen der Plasmolyse darthun, den einzelnen Substanzen gegenüber in Bezug auf seine Durchlässigkeit ganz ähnlich. Es liegt also hier eine durch die Structur bedingte, allgemeine Eigenschaft des Protoplasmas vor.

Durch die Wechselbeziehungen mit der Umgebung ist das Volumen und die Zusammensetzung der rothen Blutkörperchen veränderlich.

Das Volumen resultirt aus der Gleichheit des inneren und des äusseren osmotischen Druckes. Steigt der äussere Druck, so kann das Gleichgewicht, falls das Salz der Umgebung in die Körperchen nicht eindringt, nur durch Wasserabgabe hergestellt werden: das Körperchen schrumpft. Das Umgekehrte ist beim Uebertrage in hypisotone Lösungen der Fall. Befindet sich das Körperchen in Wasser oder in einer Lösung, deren Lösungsbestandtheil, wie z. B. Harnstoff, seine Wand leicht durchdringt, so fällt der äussere Druck gänzlich fort, das Körperchen quillt bis zur Zerstörung, das Hämoglobin tritt aus, das Blut wird lackfarben.

Bei der pathologischen Hämoglobinämie liegt freilich eine erheblich hypisotone Beschaffenheit des Blutplasmas nicht vor, wenngleich der osmotische Druck, nach Koranyi[1]), etwas unter der Norm liegt; da müssen specifische, das Körperchen zerstörende Einflüsse angenommen werden.

Wenngleich die Concentration des Gesammtblutes an Elektrolyten eine ziemlich constante ist, so ist der Antheil des Serums und der Körperchen an chlorfreien und chlorhaltigen Bestandtheilen ein wechselnder und vom Kohlensäuregehalt abhängig; auch dieses Phänomen ist physikalisch erklärlich, und es ist hierauf bei der Deutung chemischer Blutanalysen Rücksicht zu nehmen.

Als zweite Vorrichtung, welche durch wechselseitigen Austausch die Concentration des Blutplasmas regelt, nannten wir die Gefässendothelien. Durch diese Gebilde erfolgt die gesammte Abgabe von

1) A. v. Koranyi, Physikalische und klinische Untersuchungen über den osmotischen Druck thierischer Flüssigkeiten. II. Zeitschr. f. klinische Medicin. XXXIV, S. 1.

Wasser, Salzen und Nährstoffen an's Gewebe und zugleich die gesammte Aufnahme der Stoffwechselproducte in's Blut. Die hier vor sich gehenden Diffusionsprocesse sind also äusserst complicirter Natur. Da jedoch die organischen Producte nur in minimaler Concentration auftreten, kommen für den osmotischen Druck in der Hauptsache wieder nur die Salze in Betracht.

Die in den Gefässwänden vor sich gehenden Diffusionsprocesse sind für uns aber deswegen von so besonderer Wichtigkeit, weil von ihnen die Bildung und Resorption der Gewebelymphe und, unter pathologischen Verhältnissen, der Exsudate und Oedeme abhängt.

Es tritt daher auch hier die Frage wieder in den Vordergrund: Ist der Austausch zwischen Blutplasma und Gewebe ein rein physikalischer, oder ist er ein vitaler Vorgang?

Róth[1]) hat das Verhalten der Capillarwand beim Aufsaugen von Salzlösungen aus dem Gewebe und aus serösen Höhlen genauer untersucht und findet, dass die Permeabilität derselben, wie nach Analogie mit Darmwand und rothen Blutkörperchen zu erwarten war, gegen Krystalloide eine unvollkommene und nach der Natur derselben abgestufte ist. Die Stärke und Richtung der osmotischen Strömung ist nach der Seite höherer osmotischer Spannung und bei gleicher Spannung nach der Seite gerichtet, deren Lösungsbestandtheile beim Durchdringen der Gefässwand den grössten Widerstand finden. Die Bildung und Anhäufung von Stoffwechselproducten der Zellen muss immer in diesem Sinne wirken und einen Flüssigkeitsstrom nach dem Gewebe, d. h. eine Lymphbildung bewirken, was mit den Ergebnissen von L. Asher[2]) und seinen Schülern, sowie von Koranyi gut übereinstimmt. In demselben Sinne muss die Bildung pathologischer Zerfallproducte wirken; die entzündliche Exsudation kann somit rein physikalisch verstanden werden. Virchow sagte schon 1854: „In letzter Beziehung stammt das Exsudat immer aus dem Blut, allein es ist nicht die Action des Herzens, der Blutdruck, welche es hinaustreibt, sondern die Action der Gewebselemente, die sie hinauszieht."

Den Austausch bei Veränderungen der Blutzusammensetzung haben Magnus und Sollmann studirt. Sollmann[3]) injicirte Salzlösungen ins Venenblut. Hierbei zeigte sich, welch' enormen regulatorischen Einfluss die Capillarwand auf die moleculare Concentration des Blutes

---

1) Róth, Ueber die Permeabilität der Capillarwand und deren Bedeutung für den Austausch gewisser Blut- und Gewebsflüssigkeiten. Archiv für Anat. und Physiol. Physiologische Abtheilung. 1899, S. 416.

2) L. Asher, Barbèra und Busch, Untersuchungen über die Eigenschaften und die Entstehung der Lymphe. Zeitschr. für Biologie. N. F. **18**, S. 154, 1897; **19**, S. 261, 1898; 22, S. 333, 1900. v. Koranyi l. cit.

3) Sollmann, Versuche über die Vertheilung intravenös eingeführter NaCl- und Na_2SO_4 Lösungen. Archiv für experimentelle Pathologie. **46**, S. 1, 1901.

ausübt: schon während der drei Minuten dauernden Injection hat die Flüssigkeit zum Theil die Blutbahn verlassen und nach einer halben Stunde ist die Zusammensetzung des Blutes wieder die ursprüngliche. Die moleculare Concentration des Serums zeigt nur kurzdauernde und kleine Abweichungen.

Die eingespritzten Salzmolecüle gehen in's Gewebe über, welches dafür Bestandtheile an's Blut abgiebt; dann werden sie, unter Erhöhung der Diurese, langsam durch die Nieren abgeschieden. Die Diurese beginnt schon, bevor das Blut zur ursprünglichen Zusammensetzung zurückgekehrt ist.

Ganz besonders wichtig ist das Verhalten der Gefässwand zum Verständniss des Oedems. Das ist die alte Streitfrage, die zwischen COHNHEIM und v. RECKLINGHAUSEN erörtert und seitdem vielfach behandelt wurde: genügt Plethora, genügt Hydrämie zur Erzeugung von Anasarka, oder ist dazu eine Schädigung der Gefässendothelien nothwendig?

Diese Streitfrage ist, glaube ich, durch die Versuche von MAGNUS[1]) gelöst: Hydrämie allein, beim gesunden Thier, erzeugt kein Oedem, wohl aber beim todten Thier, oder wenn durch Vergiftung mit Arsen, Chloroform, Chloral, Aether oder (beim Hund) Phosphor das Endothel geschädigt ist, oder, was für die Entstehung nephritischer Oedeme wichtig, einige Zeit nach Entfernung der Nieren oder Unterbindung der Ureteren.

Dieselbe Streitfrage erhebt sich, sobald wir die Exsudations- und Resorptionsvorgänge in den serösen Höhlen betrachten.

HEIDENHAIN, der die Resorption künstlich in's Peritoneum gespritzter Salzlösungen durch ORLOW[2]) hatte untersuchen lassen, kam zur Ueberzeugung, dass bei der Resorption vitale Zellkräfte thätig seien. HAMBURGER[3]) zeigte aber alsbald, dass der Vorgang durch Quellung, Diffusion und Filtrationsdruck hinreichend erklärt werde. OTTO COHNHEIM[4]) wiederholte die HEIDENHAIN'schen Vergiftungsversuche und fand, dass die Resorption im gesunden und geschädigten Peritoneum qualitativ gleich verläuft, nur erfolgt sie bei intactem Epithel viel rascher. Daraus folgert er, wie HEIDENHAIN, die Betheiligung der Zellkräfte. Alle Flüssigkeiten werden, wie im Darm, bei der Resorption

---

1) MAGNUS, Ueber die Entstehung der Hautödeme bei experimenteller hydrämischer Plethora. Archiv für experimentelle Pathologie. 42, S. 250.

2) ORLOW, Einige Versuche über Resorption in der Bauchhöhle. Pflüger's Archiv. 59, S. 170, 1895.

3) HAMBURGER, s. Archiv für Anatomie und Physiologie, Physiologische Abtheilung. 1896, S. 36 und 126; Centralblatt für Physiologie. 1896, Nr. 22.

4) O. COHNHEIM, Ueber die Resorption im Dünndarm und in der Bauchhöhle. München 1898.

isotonisch mit dem Blut. Hier tritt nun wieder Oker-Blom mit seinen Betrachtungen ein[1]): der Salzgehalt aller Exsudate ist nahezu derselbe, nur der Eiweissgehalt wechselt. Können nun normale Serosazellen Eiweiss durchlassen, und ist eine Resorption noch möglich, wenn zu beiden Seiten der Membran Lösungen von gleichem Gesammt-, aber auch gleichem Theildruck der einzelnen Bestandtheile befindlich sind?

Die Thatsache, dass Blut aus serösen Höhlen leicht resorbirt wird, scheint die Frage im Sinne vitaler Thätigkeit der Endothelien zu entscheiden; die vergleichende Untersuchung der Exsudate im Absonderungs- und Aufsaugungsstadium dürfte vielleicht nicht nur praktische, sondern auch wichtige theoretiscbe Aufschlüsse liefern. Bisher liegen aber solche Untersuchungen nicht vor.

Als dritte Vorrichtung zur Regelung der osmotischen Blutspannung dienen die secretorischen Apparate des Körpers, unter welchen den Nieren die Hauptaufgabe zufällt.

Der Urin ist ausgezeichnet dadurch, dass er eine andere osmotische Spannung hat als das Blut. Zumeist ist sie höher (Gefrierpunktserniedrigung 0,8°—2,3°), doch kann sie nach reichlichem Wassergenuss auch in normalem Urin beträchtlich niedriger sein (bis zu 0,1°).

Die Spannungsdifferenz zwischen Blut und Urin wird erzeugt durch die in den Nierenepithelien frei werdende Energie: sie ist also ein Maass für die functionelle Thätigkeit der Nieren. Dreser[2]) hat gelehrt, diese Arbeit zu berechnen. Hiernach war es vom grössten Interesse, die Veränderungen dieser Arbeit bei Erkrankungen der Nieren zu untersuchen.

Der Einfluss der herabgeminderten Nierenfunction muss sich in doppelter Weise äussern: am Blut und am Harn.

Thatsächlich wird bei Nierenkrankheiten die moleculare Concentration des Blutes verändert gefunden; entsprechend der Aufspeicherung harnfähiger Bestandtheile ist sie höher als in der Norm.

Umgekehrt muss die moleculare Concentration des Harns sinken, wobei sie natürlich nicht nur von der Gesammtmenge der festen Bestandtheile, sondern auch von der des Wassers abhängt.

Koranyi[3]) hat zuerst in einer ausgedehnten Arbeit diese Ueberlegungen an einem grossen Material durchgeprüft und versucht, Standardzahlen aufzustellen, welche die Grenzen zwischen normaler und pathologischer Nierenfunction kennzeichnen sollen. Es ist klar, dass solche Grenzwerthe für die functionelle Nierendiagnostik vom

---

1) Vergl. S. 169.

2) H. Dreser, Ueber Diurese und ihre Beeinflussung durch pharmakologische Mittel. Archiv für experimentelle Pathologie. 29, S. 303, 1892.

3) loc. cit.

grössten Werth sein müssten. Leider sind aber die enthusiastischen Hoffnungen nicht in Erfüllung gegangen, und spätere Untersucher (LINDEMANN, MORITZ, M. SENATOR, WALDVOGEL u. A.)[1]) haben KORANYI's apodiktische Schlüsse nicht zu bestätigen vermocht.

Bei den Nierenentzündungen ist in der That der Gefrierpunkt des Blutes gegen die Norm erniedrigt, und es sind dabei die äussersten, beim Menschen beobachteten Werthe ermittelt worden. Doch sind die übrigen Ausgleichsvorrichtungen des Körpers so vollkommen, dass abnorme Werthe erst in schwersten Fällen erscheinen; ihr Auftreten fällt meist, wenn auch nicht immer, mit dem Ausbruch der Urämie zusammen.

Die Versuche, aus dem Verhältniss der Gefrierpunktserniedrigung zum Kochsalzgehalt, dem Gesammtstickstoff, der Harnmenge und dem Körpergewicht exactere Aufschlüsse zu gewinnen, sind, wenn nicht ganz gescheitert, so doch jedenfalls noch nicht zum Abschluss gelangt.

Unter diesen Umständen ist die Bedeutung der Kryoskopie für Diagnose und Prognose der Nephritiden eine zweifelhafte, und die Methode leistet nicht mehr, als die bisher üblichen Untersuchungsmethoden des Harns.

Anders ist die Sache bei einseitigen Nierenerkrankungen, Tumoren, Tuberculose etc.[2]) Hier ist die Frage: Ist die andere Niere soweit intact, dass die Exstirpation des erkrankten Organs gewagt werden darf? Da versagten die bisherigen Methoden der chemischen und mikroskopischen Untersuchung völlig, der Ureterenkatheterismus häufig, wogegen die Methode der Gefrierpunktsbestimmung sehr erfreuliche Erfolge aufzuweisen hat.

Wird der Gefrierpunkt des Blutes unter die Norm erniedrigt, der des Harns bei mittlerer Ernährung und Wasseraufnahme kleiner als 1^0 gefunden, so ist der Schluss berechtigt, dass die zurückzulassende Niere functionell bereits sehr geschädigt ist. Nicht aber ist der umgekehrte Schluss zulässig; es sind Fälle beobachtet, in denen bei normalem Blutwerth beide Nieren hochgradig verändert gefunden wurden. In letzter Instanz giebt also doch, bei negativem Harn- und Blutbefund, immer noch die operative Autopsie den Ausschlag.

Vielleicht ist indessen die functionelle Nierendiagnostik doch noch der weiteren Entwicklung fähig. Denn die bisherigen Untersuchungen

1) L. LINDEMANN, Deutsches Archiv für klinische Medicin. 65, S. 1, 1899. O. MORITZ, Petersburger med. Wochenschrift 1900, Nr. 22. M. SENATOR, Deutsche med. Wochenschr. 1900, Nr. 3. WALDVOGEL, Archiv für experimentelle Pathologie. 46, S. 41, 1901.

2) Hierüber siehe v. KORANYI, loc. cit., WALDVOGEL, loc. cit., CASPAR und RICHTER, Functionelle Nierendiagnostik. Berlin 1901.

sind, trotz KORANYI's[1]) Ermahnung, zumeist ohne Rücksicht auf die Ernährung ausgeführt und erinnern an jene Zeiten, wo man aus dem Procentgehalt des Harns an Stickstoff oder Harnstoff ähnliche Schlüsse ziehen wollte, ohne die Zufuhr zu berücksichtigen. Ebenso, wie wir den Gesammtstoffwechsel, die Magenverdauung etc. heute nach dem Grad der Bewältigung einer ganz bestimmten Aufgabe beurtheilen, müsste für eine Ernährung mit ganz bestimmten Eiweiss-, Wasser- und Salzmengen die Leistungsfähigkeit der Niere ermittelt werden. Dann ist vielleicht zu hoffen, dass die Kryoskopie des Harns eine grössere Präcision und eine gesteigerte praktische Bedeutung gewinnen kann.

Sehr vielversprechende Resultate hat dagegen jene Methode ergeben, bei der mittelst Ureterenkatheterismus der Harn jeder Niere, getrennt aufgefangen, auf Harnstoffgehalt und Gefrierpunkt geprüft wurde. Die schönen Untersuchungen von KÜMMELL[2]) und RUMPEL zeigen, dass bei einseitiger Nierenerkrankung recht erhebliche Unterschiede zwischen dem Secret des gesunden und des kranken Organs bestehen und sehr werthvolle Indicationen für die Operation gewonnen werden können.

Meine Herren! Ich komme zum Schluss. Ich habe diejenigen Arbeiten hervorgehoben, welche als grundlegend für das Wesen der Körpervorgänge anzusehen sind oder directe Beziehungen zur Diagnostik und Prognostik bereits genommen haben und dadurch das klinische Interesse in erster Linie zu fesseln geeignet sind.

Unvollständig würde aber mein Referat sein, wollte ich nicht der Anwendung gedenken, welche die VAN'T HOFF'sche Lösungstheorie auf verwandten Gebieten gefunden hat. Ich erwähne die Untersuchung der Milch[3]), deren osmotischer Druck so genau dem des Blutes parallel geht, dass sogar alimentäre Aenderungen desselben in ihr zum Ausdruck kommen; ich erwähne die Mineralwässer[4]), in deren Constitution eine Einsicht, wenn nicht gewonnen ist, so doch in Aussicht steht; ich nenne aus der Pharmakologie die Lehre von den Diureticis[5]), Narcoticis und den Alkaloiden; ich hebe ganz besonders die Lehre von der Des-

1) v. KORANYI, Berliner klinische Wochenschr. 1899, Nr. 5. NAGELSCHMIDT, Zeitschrift für klinische Medicin. 42, Heft 3—4.

2) S. KÜMMELL, Die Feststellung der Functionsfähigkeit der Nieren vor operativen Eingriffen. Centralblatt für Chirurgie 1900, Nr. 28; Deutsches Archiv für klinische Chirurgie. 61, S. 690; Münchner med. Wochenschrift 1900, Nr. 44; RUMPEL, Beiträge zur klinischen Chirurgie. 29, Heft 3, 1901.

3) Näheres s. bei KÖPPE, loc. cit.

4) Ebenda.

5) S. DRESER, loc. cit. und: Versuch, die Grösse der Kraft zu berechnen, womit Aether und Chloroform im Zustande der Narkose von den Nervenzellen festgehalten werden. Zeitschrift f. physikalische Chemie. 21, S. 108, 1896; OVERTON,

infection[1]) heraus, die unter den Händen von Krönig und Paul so enge Beziehungen zur Dissociationstheorie gewonnen hat, und endlich die Localanästhesie)[2], die durch Feststellung der anästhesirenden Wirkung hypotonischer Lösungen durch Heinr. Braun bedeutend geklärt worden ist.

Wenn ich versuche, ein Gesammturtheil auszusprechen, so muss dieses dahin lauten, dass die Bedeutung der Lösungstheorie für die Medicin eine sehr grosse gewesen ist, indem sie das Verständniss eröffnet und geklärt hat für viele Vorgänge, die im Organismus des Gesunden und Kranken eine wichtige und bisher grösstentheils dunkle Rolle spielen.

Die Bedeutung beschränkt sich aber zur Zeit grösstentheils auf den Grad einer allgemeinen Orientirung; die theoretischen Unterlagen für das volle Verständniss sind, wie die ständige Bereicherung in allerletzter Zeit erweist, noch lange nicht zum Abschluss gekommen; die hieraus gezogenen Schlüsse leiden in Folge dessen noch vielfach an Unsicherheit.

Daher ist die Zeit für eine allgemeine praktische Anwendung heute noch nicht gekommen, und ich kann mich der Meinung jener Enthusiasten, die den Beckmann'schen Gefrierapparat und die Kohlrausch'sche Messbrücke im Inventarium der praktischen Aerzte sehen wollen, noch nicht anschliessen. Diese Methoden gehören zunächst in die Kliniken und sind dort mit aller Vorsicht zu handhaben. Es ist eine häufige Erscheinung, dass Methoden, die anscheinend leicht auszuführen sind, zu vorzeitigen Schlüssen verführen; sie erfordern keine Vertiefung in den Gegenstand; leicht ist eine Zahl, ein Werth gewonnen, schwer ist aber in dem verwickelten Getriebe des Körpers deren Deutung. Selbst die Gefrierpunktsbestimmung hat ihre Haken: die Art des Rührens, die Temperatur des Kältegemisches und vieles Andere hat auf den Einstellungspunkt des Thermometers einen so grossen Einfluss, dass z. B. der Gefrierpunkt der physiologischen Kochsalzlösung von verschiedenen ganz geübten Untersuchern verschieden angegeben wird.[3]) Daher ist es nicht erlaubt, auf eine von ungeübter

---

Ueber die osmotischen Eigenschaften der Zelle in ihrer Bedeutung für die Toxikologie und Pharmakologie. Vierteljahrsschr. der Naturf. Gesellschaft in Zürich. **41**, S. 383, 1896.

1) Siehe das Referat Prof. Paul's: Die Bedeutung der Ionentheorie für die physiologische Chemie. Tübingen 1901.

2) H. Braun, Exp. Untersuchungen über Infiltrationsanästhesie, Archiv f. klinische Chirurgie. 57, Heft 2, 1898.

3) Siehe Nernst und Abegg, Zeitschrift für physikalische Chemie. **15**, S. 681, 1894, Raoult, ebenda 27, S. 617, 1898; ein zweckmässiger Apparat, angegeben von Claude und Balthazard, La Cryoscopie des Urines. Paris 1901, beschrieben in Cohen, Vorträge für Aerzte über physikalische Chemie. Leipzig 1901.

Hand gewonnene Zahl hin etwa die Indication auf Nierenexstirpation zu stellen.

Die Entwicklung der Lehre von der Darmresorption, der Diurese u. s. w. zeigt, dass biologisch weitreichende Schlüsse mit einer physikalisch-chemischen Deutung stehen und fallen. Jeder, der sich in diesem Gebiete bethätigen will, muss mit den Fortschritten der physikalischen Chemie so gut wie mit denen der Physiologie sich ständig vertraut halten. Dann freilich ist zu hoffen, dass auch die klinische Arbeit auf diesem Gebiet zu weiterer Erkenntniss führt und der Kreis der praktischen Anwendung sich ständig vertieft und erweitert.

Discussion über die letzten beiden Vorträge.

Herr Ostwald macht auf den grossen Werth physico-chemischer Untersuchungen für die Biologie aufmerksam. Andererseits sind von der Seite der Biologen wichtige Anregungen für Fortschritte in Chemie und Physik gekommen, wie die Arbeiten von Pfeffer und de Vries beweisen.

Herr M. Bial-Breslau: Die Ausführungen des Herrn Paul gipfelten in der Darstellung der Abhängigkeit desinficirender Kräfte von physikalisch-chemischen Gesetzen. Er zeigte in seinen Versuchen, wie die Kraft eines Desinfectionsmittels Bakterien gegenüber, wie Bakteriensporen von seinem Gehalt an Ionen abhängig ist. Wenn er den Ionengehalt eines Desinfectionsmittels durch Zufügung eines gleichionigen Salzes herabsetzte, dann sank auch mit dem Ionenbestand die desinficirende Kraft.

Ich lege deshalb Werth darauf, festzustellen, dass ich schon im Jahre 1896 in einer Arbeit „über den Mechanismus der Gasgährungen im Magensaft“ (Berl. klin. Wochenschr. 1896 Nr. 3) die nöthigen Thatsachen beigebracht habe, um für das antiseptische Verhalten der Magensalzsäure dieselbe Deutung zu sichern. Ich untersuchte die Entwicklungshemmung, welche der Hefepilz durch die HCl des Magensaftes erfährt, und fand, dass die antiseptische Kraft der HCl gegenüber diesem Pilz aufgehoben wurde durch das ClNa des Mageninhalts. Ich stellte also schon damals eine Wechselbeziehung zwischen Säure, HCl und dem ClNa, dem Salz, welches ein Ion, Cl, mit der Säure gemeinsam hat, fest.

Verlege ich die antiseptische Wirkung der HCl in ihr H-Ion, dann erklärt sich die Wirkung des ClNa auf die HCl ebenso, wie in den Paul'schen Versuchen, dahin, dass der Zusatz des Salzes, welches das Cl-Ion mit der Säure gemeinsam hat, der Dissociation der letzteren nach dem bekannten Gesetz der physikalischen Chemie zurückdrängt, also den Gehalt an H-Ionen, welche antiseptisch kräftig wirken, herabsetzt.

Daher das Paralysiren der antiseptischen Wirkung der HCl durch das ClNa und die Erklärung, warum im Magensaft, der die antiseptisch kräftige HCl enthält, überhaupt die Hefegährung eintreten kann.

Ich habe noch einige weitere Beweise für die obige Anschauung von dem Haften der antiseptischen Wirkung am H-Ion der Säuren ausgearbeitet und werde die bezüglichen Versuche in einem Vortrag, den ich für die innere Section („über den Mechanismus der antiseptischen Wirkung") angekündigt habe, mittheilen; ich erlaube mir deshalb, nur kurz darauf an dieser Stelle hinzuweisen.

Herr VAN 'T HOFF erinnert an die Versuche von LOEB, die zeigen, dass die mit der Ionisation in Zusammenhang stehenden osmotischen Verhältnisse eine wichtige Rolle bei der Befruchtung spielen.

(Schluss 2 Uhr 15 Minuten.)

II.

Bericht über die gemeinschaftliche Sitzung der naturwissenschaftlichen Hauptgruppe.

Donnerstag, den 26. September, Vormittags 10 Uhr.

Vorsitzender: Herr J. H. VAN 'T HOFF-Charlottenburg.

Den ersten Vortrag hielt Herr W. OSTWALD-Leipzig.

1.

Ueber Katalyse.

Von

W. Ostwald-Leipzig.

Der Begriff und Name der katalytischen Wirkungen ist im Jahre 1835 von BERZELIUS aufgestellt worden, nachdem im vorangegangenen Jahre MITSCHERLICH das Ergebniss seiner klassischen Arbeit über die Bildung des Aethers dahin ausgesprochen hatte, dass der Zerfall des Alkohols in Aether und Wasser unter dem Einflusse der Schwefelsäure weder von der wasserentziehenden Wirkung der Säure, noch von der erhöhten Temperatur, noch endlich von der Bildung der Aethylschwefelsäure bedingt sei. Er schliesst: „Zersetzungen und Verbindungen, welche auf diese Weise hervorgebracht werden, kommen sehr häufig vor; wir wollen sie Zersetzungen und Verbindungen durch Contact nennen."

Während wir MITSCHERLICH ein erstes sorgfältig experimentell durchgearbeitetes Beispiel derartiger Vorgänge verdanken, ist das Verdienst von BERZELIUS der Nachweis, dass bereits eine grössere Anzahl von Reactionen bekannt war, welche mit jenem Falle bestimmte Aehnlichkeiten aufwiesen. Die Eigenschaft seines Geistes, welcher er einen wesentlichen Theil seiner grossen Wirkung verdankte, seine Fähigkeit,

auseinanderliegende Einzelheiten systematisch zusammenzufassen, bewährte sich auch hier, und der von ihm geschaffenen Begriff der Katalyse hat seitdem, wenn auch Anfangs nicht ohne Widerspruch, aber jetzt endgültig Eingang in die Wissenschaft gefunden.

Die von BERZELIUS zusammengefassten Erscheinungen sind folgende: die 1811 von KIRCHHOF entdeckte Umwandlung der Stärke in Dextrin und Zucker durch Kochen mit verdünnten Säuren; die von demselben 1813 nachgewiesene gleiche Wirkung des Malzauszuges, bezw. die 1833 durch PAYEN und PERSOZ bewirkte theilweise Isolirung des hierbei wirksamen Stoffes, der Diastase; die 1818 von THENARD untersuchte Zersetzung des Wasserstoffperoxyds durch Metalle, Oxyde und durch Fibrin; die Wirkung des Platins auf verbrennliche Gasgemenge (J. DAVY und DÖBEREINER 1817 und 1822) und endlich zufolge der eben erwähnten Arbeit von MITSCHERLICH die Aetherbildung.

Das Gemeinsame in diesen Vorgängen ist, dass sie durch die Anwesenheit von Stoffen bewirkt werden, deren Bestandtheile nicht in den Endproducten erscheinen und daher durch die Reaction nicht verbraucht werden. Demgemäss definirt BERZELIUS sie folgendermaassen: „Die katalytische Kraft scheint eigentlich darin zu bestehen, dass Körper durch ihre blosse Gegenwart und nicht durch ihre Verwandtschaft die bei dieser Temperatur schlummernden Verwandtschaften zu erwecken vermögen, so dass zufolge derselben in einem zusammengesetzten Körper die Elemente sich in solchen anderen Verhältnissen ordnen, durch welche eine grössere elektrochemische Neutralisirung hervorgebracht wird."

Es ist wichtig, zu bemerken, dass in dieser Definition von BERZELIUS kein Versuch irgend einer Erklärung gemacht worden ist; vielmehr hat er in einer darauf folgenden Discussion mit LIEBIG sehr ernstlich auf die grosse Gefahr hingewiesen, unvollkommen bekannte Erscheinungen durch hypothetische Annahmen erklären zu wollen und so die experimentelle Forschung zu hindern. Diese Warnung ist nicht berücksichtigt worden, und die von BERZELIUS vorausgesehenen Behinderungen in der wissenschaftlichen Bearbeitung der Frage haben bis in unsere Tage ihre schädliche Wirkung geübt.

Versuchen wir, an der Hand der vorstehend gegebenen Begriffsbestimmungen eine Uebersicht der gegenwärtig bekannten Contactwirkungen oder Katalysen zu gewinnen, so werden wir folgende Eintheilung machen können:

1. Auslösungen in übersättigten Gebilden.
2. Katalysen in homogenen Gemischen.
3. Heterogene Katalysen.
4. Enzymwirkungen.

Die Thatsachen, welche zu dieser Gruppirung geführt haben, sollen nach einander erörtert werden, wobei sich die Angemessenheit der Ordnung, wie ich hoffe, ergeben wird.

1. Auslösung in übersättigten Gebilden.

Ich beginne mit diesen Erscheinungen, da sie gegenwärtig als grundsätzlich aufgeklärt gelten können und uns somit die Beurtheilung der anderen Fälle erleichtern werden. Der bekannteste Fall ist hier die Krystallisation einer übersättigten Lösung, z. B. von Glaubersalz, durch Zutritt einer sehr kleinen Spur des festen Stoffes, in Bezug auf den die Lösung übersättigt ist. Hier liegt zunächst das charakteristische Missverhältniss zwischen der Menge des wirksamen Stoffes und der Menge des durch seinen Einfluss umgewandelten vor. Mittelst eines weit unterhalb der Grenze der Wägbarkeit liegenden Stäubchens kann man eine beliebig grosse Menge der übersättigten oder überkalteten Flüssigkeit zur Erstarrung bringen. Vor einigen Jahren habe ich die Grösse des kleinsten Stäubchens zu messen versucht, welches noch die Wirkung eigt; sie hat sich als sehr klein, nämlich 10^{-10} bis 10^{-12}g, aber nicht unmessbar klein ergeben, denn noch kleinere Mengen brachten keine Erstarrung mehr hervor.

Diese Vorgänge sind nicht auf den Fall beschränkt, dass eine Flüssigkeit in Bezug auf einen festen Körper übersättigt ist; sie kann auch in Bezug auf ein Gas übersättigt sein, und es wird dann in ihr durch Spuren eines Gases eine unverhältnissmässige Gasentwicklung ausgelöst. Auch ist die Uebersättigung oder allgemeiner die Ueberschreitung nicht an den flüssigen Zustand gebunden; auch Dämpfe können übersättigt in Bezug auf flüssige oder feste Körper sein, und selbst bei festen Körpern sind Fälle bekannt, wo sie „übersättigt“ in Bezug auf Flüssigkeiten sind, d. h. sich in Berührung mit ein wenig der betreffenden Flüssigkeit in diese verwandeln. „Uebersättigung“ seitens fester Körper in Bezug auf andere feste Körper, die aus ihnen entstehen können, sind sehr häufig.

Dagegen sind Uebersättigungen von Flüssigkeiten in Bezug auf andere Flüssigkeiten noch nicht sicher nachgewiesen und jedenfalls nur schwierig herzustellen.

Die Theorie aller dieser Erscheinungen ist bekannt. Es handelt sich in allen Fällen um die Thatsache, dass Gebilde vorliegen, deren Beständigkeit nicht die grösste unter den vorhandenen Bedingungen von Druck und Temperatur ist. Es giebt vielmehr noch andere, beständigere Zustände, die dadurch gekennzeichnet sind, dass in ihnen eine neue Phase, d. h. ein physisch geschiedener Antheil mit anderen Eigenschaften auftritt. Bei der übersättigten Glaubersalzlösung ist es das feste Salz, bei dem übersättigten Sodawasser ist es das Kohlen-

dioxydgas. Nun tritt allgemein eine solche neue Phase nie von selbst auf, wenn die Ueberschreitung nicht zu gross war, und das Gebilde verhält sich wie ein im Gleichgewicht befindliches. Tritt aber eine kleine Menge der fehlenden Phase mit diesem „metastabilen“ Gebilde in Berührung, so ist die Reaction ausgelöst, und die neue Phase vermehrt sich, bis Gleichgewicht eingetreten ist.

Ist die neue Phase ein fester Stoff, so ist die auslösende Wirkung, die „Keimwirkung“, daran gebunden, dass der Keim aus dem gleichen Stoffe besteht, wie die mögliche feste Phase. Ausserdem haben noch isomorphe Stoffe diese Eigenschaft; fremde feste Körper sind dagegen ohne Wirkung. Hier ist allerdings noch ein weites Feld der Forschung offen, denn da isomorphe Stoffe wahrscheinlich durch die Bildung fester Lösungen wirken, so ist zu untersuchen, ob auch solche feste Stoffe, die zwar nicht isomorph sind, wohl aber mit dem betreffenden Stoffe feste Lösungen bilden können, wirksam sind.

Ausserdem giebt es Fälle, wo feste Körper auslösend wirken, welche weder isomorph sind, noch feste Lösungen bilden. Solche „künstlichen Keime“ kann man beispielsweise herstellen, wenn man Kieselsäure in Gegenwart der betreffenden Krystalle unlöslich werden lässt und dann die Krystalle mittelst passender Lösungsmittel entfernt. Ich habe diese Thatsache zwar constatirt, aber noch nicht die Zeit gefunden, eine eingehende Untersuchung auszuführen und insbesondere einen sicheren Weg zur Gewinnung der künstlichen Keime auszuarbeiten. Doch glaubte ich die Beobachtung hier erwähnen zu sollen, da sie manche scheinbare Widersprüche aufklären kann, die man bei den Untersuchungen in diesem schwierigen Gebiete gefunden hat.

Während die Keime bei Uebersättigungen in Bezug auf feste Phasen specifischer Natur sein müssen, wirkt bei Uebersättigungen in Bezug auf Gase jedes beliebige Gas auslösend. Dies ist eine Folge davon, dass sich jedes Gas in jedem anderen unbeschränkt löst, d. h. mit ihm eine homogene Mischung liefert.

Eine gegebene Flüssigkeit kann gleichzeitig in Bezug auf verschiedene Phasen übersättigt sein. So kann man leicht Natriumacetat und Natriumthiosulfat zu einer Flüssigkeit zusammenschmelzen, welche gegen Keime jedes dieser Salze in besonderer Weise reagirt, indem nur der betreffende Stoff ausgeschieden wird, während der andere im flüssigen Zustande hinterbleibt. Denkt man sich daher in einer Röhre an einer Stelle einen Keim des Acetats, an einer anderen Stelle einen solchen des Thiosulfats angebracht, so wird beim Durchströmen der Flüssigkeit durch die Röhre jeder dieser Keime in seiner eigenen Art wachsen.

Wir haben hier ein Beispiel für die physico-chemische Möglichkeit gewisser organischer Vorgänge, über welche sich bereits Berzelius bei Gelegenheit seiner Erörterungen über Katalyse den Kopf zerbrochen

hat. Es ist dies die Bildung der verschiedenartigsten Stoffe in den Organen des thierischen Körpers aus einer und derselben Flüssigkeit, dem Blute. Wenn wir das Blut als eine in Bezug auf alle diese Stoffe übersättigte Lösung betrachten dürften, so wäre es verständlich, dass jedes Organ sich seiner Substanz nach auf Kosten einer und derselben Flüssigkeit vermehren kann.

Es wäre jedenfalls unzulässig, zu behaupten, dass hiermit wirklich eine allgemeine Theorie der thierischen Secretionen gegeben sei. Denn die Betrachtung hat ja nur Geltung für feste Stoffe oder allgemein für eine heterogene Phase. Auch ist noch die Vorfrage zu erledigen, ob denn auch Verbindungen, die in der Flüssigkeit nicht vorgebildet sind, sondern erst durch chemische Wechselwirkung der darin enthaltenen Stoffe entstehen müssen, Uebersättigung gegen berührende feste Phasen zeigen können.

Diese Frage muss bejaht werden. Es sind uns beispielsweise Uebersättigungserscheinungen an den Lösungen des Calciumsulfats wohlbekannt, welche so verdünnt sind, dass sie zum allergrössten Theil dies Salz in Gestalt seiner Ionen enthalten. Da im festen Salze keine Ionen enthalten sind, liegt hier eine chemische Umwandlung vor. Ebenso zeigen verdünnte Lösungen von Bleisalzen und Thiosulfaten Uebersättigung in Bezug auf Bleisulfid, das aus ihnen durch eine weitgehende chemische Zersetzung entsteht. Endlich gewähren die Methoden der „physikalischen Entwicklung" in der Photographie Beispiele solcher Erscheinungen.

Leider ist es nicht ausführbar, an dieser Stelle die möglichen physiologischen Anwendungen der hier obwaltenden Gesetze darzulegen, und ich muss mich mit dem Ausdrucke meiner Ueberzeugung begnügen, dass auf diesem Wege in der That manche Probleme des organischen Lebens eine zureichende Lösung finden können.

Fassen wir die eben geschilderten Verhältnisse grundsätzlich zusammen, so sehen wir, dass die wesentlichste Voraussetzung das Vorhandensein eines metastabilen Gebildes ist, welches den stabileren Zustand aus eigenen Kräften erst aufsucht, nachdem ihm ein Weg dazu geöffnet ist. Der Keim der anderen Phase ist nicht die Ursache der Reaction in dem Sinne, in welchem R. Mayer dies Wort braucht, denn er liefert nicht die für den Vorgang erforderliche freie Energie, sondern er ist nur die Auslösung eines Vorganges, der sich aus eigenen Kräften vollendet, nachdem er einmal in Gang gebracht ist.

Wir können uns schon jetzt darüber klar werden, dass Aehnliches auch für alle anderen Fälle der Contactwirkung gelten muss. Gerade der Mangel an Proportionalität zwischen der Menge des katalytisch wirkenden Stoffes und dem Betrage der Umwandlung macht es zu einer nothwendigen Voraussetzung, dass die katalytisch verursachten Vorgänge ihren Energieaufwand aus Eigenem bestreiten.

Diese Erkenntniss tritt im Gewande ihrer Zeit schon bei Berzelius auf, wenn er sagt, dass durch den Vorgang eine grössere elektrochemische Neutralisation bewirkt würde. Er ist auch gegenwärtig oft genug ausgesprochen worden, aber meist in einer falschen Gestalt. So finde ich bei einem hervorragenden Erforscher der katalytischen Enzymwirkungen den Satz, dass durch diese nie eine endothermische Reaction soll bewirkt werden können. Dies ist ganz unrichtig, denn da endothermische Reactionen von selbst, d. h. ohne katalytische Beeinflussung, ganz wohl stattfinden können, so ist gar nicht einzusehen, warum solche nicht auch unter dem Einflusse von Enzymen stattfinden sollten. Wohl aber sind unter diesen Einflüssen keine Reactionen möglich, bei denen eine Verminderung der freien (nicht der gesammten) Energie stattfindet. Es sind mit anderen Worten unter dem Einflusse von Katalysatoren keine Reactionen möglich, die nicht auch ohne diesen Einfluss stattfinden könnten, ohne dass eines der Energiegesetze verletzt wird. In dieser Gestalt ist der Satz allerdings den betheiligten Forschern nicht ganz geläufig, denn es finden sich nicht selten Darstellungen, in denen der auf den zweiten Hauptsatz bezügliche Theil dieses Gesetzes missachtet und verletzt wird.

Ganz unhaltbar ist die Behauptung, dass Katalysatoren nur spaltende, keine synthetische Wirkung haben können. Die organische Chemie bietet zahlreiche Beispiele des Gegentheils: ich brauche nur an die Synthesen unter dem Einflusse des Kaliumäthylats zu erinnern.

2. Katalysen in homogenen Gemischen.

Die jetzt zu besprechende Abtheilung der Contactwirkungen ist die grösste und theoretisch wichtigste. Hierher gehören die meisten der zahllosen inzwischen entdeckten katalytischen Wirkungen.

Fragen wir, ob sich die im ersten Falle gegebene Erklärung auch hier anwenden lässt, so muss die Antwort verneinend lauten. Das Wesentliche im ersten Falle war ja das Auftreten der neuen Phase; diese ist aber hier durch die Definition ausgeschlossen.

Den richtigen Standpunkt dem neuen Problem gegenüber finden wir aber, wenn wir an der allgemeinen Bedingung festhalten, welche eben für alle Gebilde aufgestellt worden ist, die einer Contactwirkung unterliegen: sie dürfen nicht einen stabilsten Zustand darstellen, denn ein solcher kann überhaupt keine Aenderung ohne Energiezufuhr erfahren. Wie verhalten sich aber instabile Gebilde, wenn sie homogen sind?

Die Antwort ist, dass homogene instabile Gebilde überhaupt nicht anders als im Zustande der Umwandlung existiren können. Eine übersättigte Lösung kann, wenn die Uebersättigung innerhalb gewisser Grenzen bleibt, bei passendem Schutz unbegrenzt lange aufbewahrt

werden, und in ihr findet keinerlei Veränderung statt. Eine Flüssigkeit aber, welche ohne Zufuhr freier Energie andere flüssige Producte liefern kann, die gelöst bleiben, lässt sich nicht aufbewahren, ohne diese Producte zu bilden. Dies kann möglicherweise äusserst langsam geschehen, so langsam, dass ohne besondere auf den Zweck gerichtete, langwierige Untersuchung eine Veränderung überhaupt nicht nachgewiesen werden kann. Aber die sicherste Grundlage allgemeiner Schlüsse, die wir kennen, die Gesetze der Energetik verlangen, dass thatsächlich die Umwandlung stattfindet. Sie dictiren keinen Zahlenwerth der Geschwindigkeit, die dabei eingehalten werden muss; sie verlangen nur, dass diese Geschwindigkeit nicht streng Null ist, sondern einen endlichen Werth hat.

Hierdurch gewinnen wir alsbald auch für diesen Fall die Definition eines Katalysators.

Ein Katalysator ist jeder Stoff, der, ohne im Endproduct einer chemischen Reaction zu erscheinen, ihre Geschwindigkeit verändert.

Es ist bei dieser Definition sachgemäss vermieden, irgend eine Ansicht über die Ursache eines solchen Einflusses auszusprechen. Ja, wir müssen uns hüten, auch nur zu behaupten, dass für alle katalytischen Wirkungen Ursachen derselben Art maassgebend sind. Diese Fragen stehen auf einem anderen Blatt; hier soll zunächst nur eine Definition gefunden werden, welche eine wissenschaftliche Bearbeitung der Frage ermöglicht.

Dass die gegebene Definition diesen Zweck erfüllt, werden Sie alsbald erkennen, denn sie ergiebt sofort die Fragestellung nach dem zahlenmässigen Betrage der Beschleunigung, bez. Verzögerung und deren Abhängigkeit von der Natur und Concentration des Katalysators, der Temperatur, der Gegenwart anderer Stoffe u. s. w. Es ist selbstverständlich, muss aber dennoch ausgesprochen werden, dass alle Versuche, Theorien für die Ursache der katalytischen Erscheinungen aufzustellen, werthlos bleiben, bis derartige messende Feststellungen durchgeführt sind.

Fasst man die Katalyse in dem eben definirten Sinne auf, so ist sie eine ungemein verbreitete Erscheinung, welche thatsächlich sich jedesmal geltend macht, wenn überhaupt die Geschwindigkeit einer chemischen Reaction der Messung zugänglich ist. Ein ausgezeichnetes Beispiel haben die bekannten Versuche von Menschutkin ergeben, der für eine Anzahl verschiedenartiger Reactionen nachgewiesen hat, dass ihre Geschwindigkeit je nach dem Lösungsmittel zwischen sehr bedeutenden Grenzen verschieden ausfallen kann. Schon diese Wirkungen der Lösungsmittel werden wir also als katalytische zu bezeichnen haben. Feststellungen darüber, ob sich hierbei etwa Verbindungen zwischen dem Lösungsmittel und den Reagentien bilden, so dass Aenderungen

der Geschwindigkeit auf Aenderungen der wirksamen Mengen zurückzuführen sind, sollen dadurch natürlich nicht präjudicirt sein.

Zwischen diesen Einflüssen und solchen, bei denen verschwindend geringe Mengen zugesetzter Stoffe die Geschwindigkeit in allerhöchstem Maasse ändern, lassen sich stetige Uebergänge von allen Graden nachweisen. Bisher sind meist Wirkungen der letzteren Art ausschliesslich als katalytische bezeichnet worden; da es sich indessen nur um quantitative Unterschiede handelt, so ist es methodisch nicht gerechtfertigt, die Fälle auszuschliessen, in welchen die Beträge kleinere Werthe haben.

Zur Beobachtung und Messung sind bisher meist die Fälle gelangt, in denen sehr grosse Beeinflussungen durch sehr kleine Stoffmengen vorlagen. Selbst wenn man sich auf solche beschränkt, so ist die Anzahl der nachgewiesenen einzelnen Fälle bereits jetzt ausserordentlich gross. Insbesondere verdanken wir den Arbeiten SCHÖNBEIN's eine fast unabsehbare Liste solcher Reactionen. Allerdings fehlt bei SCHÖNBEIN noch die Erkenntniss, dass es sich bloss um Beschleunigung an sich stattfindender, nur langsam verlaufender Vorgänge handelt; er sieht sie vielmehr als durch den Katalysator erst hervorgerufen an. Dadurch stehen wir jetzt vor der Aufgabe, das von diesem unermüdlichen und originalen Forscher ausgegrabene Rohmaterial einer quantitativen Durcharbeitung zu unterziehen: eine Arbeit, welche die gemeinsame Bethätigung einer ganzen Reihe von Forschern beanspruchen wird.

An eine Aufzählung solcher Fälle kann ich hier nicht gehen. Ich will nur betonen, das es keine Art chemischer Reactionen zu geben scheint, die nicht katalytisch beeinflusst werden könnte, und keine Art chemischer Stoffe, seien es Elemente oder Verbindungen, die nicht katalytisch wirken könnten. Ebenso beantwortet sich die von BERZELIUS bereits gestellte Frage, ob es allgemeine oder specifische Katalysatoren gebe, dahin, dass b e i d e Fälle nachweisbar sind. Während beispielsweise die Anwesenheit von Wasserstoffion die meisten chemischen Reactionen beschleunigt, so dass dieser Stoff als ein Katalysator von grosser Allgemeinheit bezeichnet werden muss, giebt es namentlich unter den Enzymen specifische Katalysatoren, welche nur auf ganz bestimmte Stoffe ihre beschleunigende Wirkung ausüben. Auch die andere Frage von BERZELIUS, ob aus einem und demselben Stoff oder Stoffgemisch durch verschiedene Katalysatoren verschiedene Producte hervorgebracht werden können, oder in unserem Sinne, ob verschiedene mögliche Reactionen an demselben Gebilde durch verschiedene Katalysatoren in verschiedenem Sinne beschleunigt werden können, glaube ich bejahend beantworten zu müssen, wenn ich auch keine besonders auf diesen Zweck gerichteten Versuche anzuführen weiss.

Wenden wir uns nun den Versuchen zu, die katalytische Erscheinung dem wissenschaftlichen Verständniss näher zu bringen oder eine Theorie derselben zu geben, so muss ich an das eben Gesagte erinnern.

Die bisherigen Theorien, soweit sie überhaupt Anspruch auf wissenschaftliche Bedeutung erheben können, schweben zur Zeit noch in der Luft, da ihre messende Durcharbeitung eben nur in Angriff genommen ist. Wenn auch die Untersuchungen, zu deren Verfolgung seit einigen Jahren sich eine Anzahl tüchtiger, junger Forscher in dem von mir geleiteten Laboratorium vereinigt hat, bereits einige Ergebnisse in diesem Sinne haben zu Tage treten lassen, so möchte ich doch an dieser verantwortlichen Stelle mir voreilige Schlüsse am wenigsten zu Schulden kommen lassen. Vielleicht wird es nach einigen Jahren möglich sein, allgemeine Ergebnisse mitzutheilen; heute muss ich mich damit begnügen, dass der Boden für die gemeinsame Arbeit der Fachgenossen frei gemacht ist.

Die erste Theorie der katalytischen Erscheinungen wurde von Liebig aufgestellt, und zwar zu dem Zwecke, diesen von Berzelius geschaffenen Begriff als überflüssig erscheinen zu lassen. Liebig fasste die Katalyse als eine unmittelbare Folge des mechanischen Trägheitsgesetzes auf. Seine Aeusserung lautet: „Diese Ursache ist die Fähigkeit, welche ein in Zersetzung oder Verbindung, d. h. in chemischer Action begriffener Körper besitzt, in einem anderen ihn berührenden Körper dieselbe chemische Thätigkeit hervorzurufen, oder ihn fähig zu machen, dieselbe Veränderung zu erleiden, die er selber erfährt. Diese Fähigkeit wird am besten durch einen brennenden Körper (einen in Action begriffenen) versinnlicht, mit welchem wir in anderen Körpern, indem wir sie dem brennenden nähern, dieselbe Thätigkeit hervorrufen."

Liebig hat bei dieser Erklärung offenbar keine glückliche Hand gehabt. Sein Beispiel schlägt ihn selbst, denn zum Anzünden braucht man keinen brennenden Körper, sondern nur einen heissen; ob er in Folge eines chemischen Vorgangs heiss ist oder aus irgend einem anderen Grunde, ist für den Erfolg ganz gleichgültig. Es sind denn auch alsbald solche Einwände erhoben worden, und Liebig sah sich veranlasst, seiner Hypothese eine veränderte Gestalt zu geben. Er erläutert seine Ansicht in Anschluss an die Frage der Zuckergährung durch folgende Worte:

„Aehnlich wie die Wärme das statische Moment in den Elementen sehr vieler chemischer Verbindungen aufzuheben fähig ist, geschieht dies durch einen Körper, dessen Elemente sich selbst im Zustande eines aufgehobenen Gleichgewichts befinden; die Bewegung, in der sich seine Atome befinden, theilt sich den Atomen der Elemente des Zuckers mit; sie hören auf, in dem Zustande zu beharren, in welchem sie Zucker bilden, und ordnen sich nach ihren besonderen Anziehungen".

Diese Hypothese „molecularer Schwingungen" hat sich in der Folge

einer grossen Beliebtheit erfreut und dürfte noch heute die Ansicht vieler, insbesondere der nichtbetheiligten Fachgenossen darstellen. Sie hat den besonderen Vorzug, dass sie nicht widerlegt werden kann, da sie überhaupt einer Prüfung nicht zugänglich ist. Die wissenschaftliche Anspruchslosigkeit, welche in der Anwendung einer solchen „Theorie" liegt, wurde um so weniger empfunden, als auch die übrige Entwicklung der Chemie nach einer Richtung stattfand, in welcher die Benutzung molecularer Hypothesen als ein vollwichtiges wissenschaftliches Hülfsmittel galt. Wenn man aber versucht, aus ihr auch nur die geringste Anleitung zu experimenteller Fragestellung und Forschung zu entnehmen, oder sie zu irgend einer Vermuthung über die möglichen Gesetze der katalytischen Wirkungen zu verwerthen — und dies ist doch der einzige Zweck solcher Hypothesen —, so überzeugt man sich allerdings von ihrer vollendeten Unfruchtbarkeit.

Dass durch die Hypothese der molecularen Schwingungen die ganze Angelegenheit thatsächlich auf ein todtes Geleis gefahren war, lässt sich daraus erkennen, dass eine stetige wissenschaftliche Bearbeitung des einst mit so grossem Eifer behandelten Problems hernach nicht eingetreten ist. Lange Zeit hindurch sind es immer nur vereinzelte Forscher, welche sich um katalytische Erscheinungen kümmern, sie beobachten und beschreiben. Auch hat sich Schönbein, dessen Forschungen wir so viel von dem verdanken, was wir an Thatsachen gegenwärtig wissen, an den theoretischen Streitigkeiten über deren Ursache nicht betheiligt; es machte ihm vielmehr ein sichtliches Vergnügen, diesen Erscheinungen nachzugehen, für welche die zeitgenössische Chemie, der er nur geringe Achtung zollte, keine Erklärung noch Unterkunft wusste.

Viel Günstigeres lässt sich von einem anderen Gedanken sagen, der lange vorher aufgestellt, inzwischen aber gar nicht zur Geltung gekommen war. Es ist dies die Idee der Zwischenreactionen.

Ihren Ausgang hat sie in der ersten wissenschaftlichen Bearbeitung genommen, welche die chemischen Vorgänge in der Bleikammer beim Schwefelsäureprocess erfuhren. In einer klassisch gebliebenen Arbeit haben Clément und Désormes im Jahre 1806 die noch heute allgemein angenommene Erklärung für die Wirkung gegeben, welche die Oxyde des Stickstoffs bei der Oxydation der schwefligen Säure durch den Luftsauerstoff ausüben. Wie Sie alle wissen, beruht sie auf der Annahme, dass die schweflige Säure durch die höheren Oxyde des Stickstoffs oxydirt wird, während diese in Stickoxyd übergehen. Letzteres verbindet sich wieder mit dem Luftsauerstoff, und der Vorgang kann von Neuem erfolgen. So dient dann eine geringe Menge von Stickstoffoxyden, um unbegrenzte Mengen schwefliger Säure zu oxydiren.

Merkwürdigerweise wurde zu der Zeit des Streites zwischen Berzelius und Liebig dieser Fall gar nicht in die Erörterung gezogen, und erst später finden sich Anwendungen der alten Betrachtungsweise

auf andere Fälle, wo chemische Vorgänge durch Stoffe befördert werden, ohne dass ein stöchiometrisches Verhältniss zu diesen Hülfsstoffen besteht. Doch hat sich dann diese Auffassung mehr und mehr verbreitet, und heute muss man sie als den ältesten und wichtigsten Versuch bezeichnen, gewisse, wenn auch vielleicht nicht alle katalytischen Vorgänge zu erklären.

Allerdings besteht auch dieser Ansicht gegenüber meist noch eine gewisse Anspruchslosigkeit. Wenn man sich einer katalytischen Erscheinung gegenüber sieht, so sucht man nach möglichen Zwischenproducten, an deren Bildung der Hülfsstoff oder Katalysator theilnehmen könnte, und erachtet die Aufgabe als im Wesentlichen gelöst, wenn man einen solchen namhaft machen kann. Gelingt es gar, etwas von dem angenommenen Zwischenproduct aus der Reactionsmasse herauszupräpariren, so gilt die Auffassung als erwiesen. Ob jener Stoff wirklich ein Zwischenproduct und nicht etwa nur ein Nebenproduct ist, das ist eine Frage, welche kaum gestellt, geschweige denn erledigt wird.

Prüfen wir nun den Gedanken von unserem heutigen Standpunkte aus, so wird man zunächst etwas Widersprechendes in ihm empfinden. Damit ein Vorgang überhaupt verläuft, muss er mit einem Abfall der freien Energie verbunden sein. Dieser Abfall hängt nur vom Anfangs- und Endpunkte der Reaction ab, nicht aber von ihrem Wege. Andererseits ist die Geschwindigkeit der Reaction in streng vergleichbaren Fällen proportional diesem Abfalle. Hieraus würde man zu schliessen geneigt sein, dass die Reactionsgeschwindigkeit eines gegebenen Gebildes denselben Werth haben müsste, ob der Vorgang direct oder indirect, ob er in einem Zuge oder in Stufen stattfindet.

Ein solcher Schluss wäre falsch, denn ausser dem Abfall der freien Energie sind noch viele andere Factoren für die Reactionsgeschwindigkeit bestimmend, die man keineswegs alle kennt. Ein wohlbekanntes Beispiel ist der sehr grosse Einfluss, den die Temperatur hat, und der unverhältnissmässig viel mehr beträgt, als die entsprechende Zunahme der freien Energie. Auch lehrt die chemische Energetik, dass sich zwar über die Gleichgewichte gegebener Gebilde, nicht aber über die Geschwindigkeit, mit welcher diese von einem gegebenen Zustande aus erreicht werden, Allgemeines aussagen lässt, nichts aber über die Geschwindigkeit, mit der dies Gleichgewicht erreicht wird. Es ergiebt also keinen Widerspruch mit allgemeinen Gesetzen, wenn wir annehmen, dass eine gewisse Reactionsfolge über einen Zwischenstoff schneller erfolgt, als die unmittelbare Reaction ohne diesen; doch spricht auch nichts dafür und Einiges dagegen, dass dies allgemein der Fall ist.

Um also auf unser klassisches Beispiel, das ja übrigens auch bald der Geschichte angehören wird, zurückzukommen, so können wir immerhin annehmen, dass die schweflige Säure durch den Luftsauerstoff allein viel langsamer oxydirt wird, als die beiden Reactionen: Oxydation der

schwefligen Säure durch Stickstoffperoxyd und Oxydation des Stickoxyds durch Luftsauerstoff, neben einander verlaufen, trotzdem die Concentrationen der Zwischenproducte nothwendig geringer sein müssen, als die für die unmittelbare Reaction wirksamen Concentrationen. Aber damit wir diese Auffassung als wissenschaftlich begründet erachten, fehlt noch die Hauptsache: es müssen die in Betracht kommenden Reactionsgeschwindigkeiten wirklich gemessen sein, und ehe dies geschehen ist, kann man nur von einer Vermuthung, nicht aber von einer Erklärung reden. Und was hier gesagt ist, gilt allgemein: durch die Annahme irgend welcher Zwischenreactionen wird eine katalytische Beschleunigung durchaus nicht erklärt, wenn nicht bewiesen wird, dass diese Zwischenreactionen unter den vorhandenen Bedingungen thatsächlich schneller verlaufen, als die directe Reaction.

Bis heute ist noch kein derartiger Fall einwurfsfrei durchgearbeitet und eine derartige Erklärung in keinem einzigen Falle bewiesen. Allerdings wird, wie ich hoffe, diese Lücke nicht mehr lange bestehen, denn einige auf diesen Punkt gerichtete Arbeiten sind ihrem Abschlusse nahe.

Es entsteht nun, vorausgesetzt, dass in einzelnen Fällen die Richtigkeit der Theorie der Zwischenproducte bewiesen ist (was allem Anscheine nach eintreten wird), die neue Frage, ob auf diesem Wege eine Erklärung aller Katalysen gegeben sei. Ich glaube, dass hierauf unbedingt mit Nein geantwortet werden muss. Ich glaube eine ganze Anzahl Katalysen zu kennen, bei denen eine derartige Erklärung nicht durchführbar ist. Insbesondere sehe ich keine Möglichkeit, die Thatsache der verzögernden katalytischen Beeinflussungen durch die Annahme von Zwischenproducten zu erklären. Denn wenn eine Reaction über die Zwischenproducte langsamer geht, als auf directem Wege, so wird sie eben auf diesem letzteren stattfinden, und die Möglichkeit von Zwischenproducten hat überhaupt keinen Einfluss auf den Vorgang.[1])

Wohl aber erscheint mir eine Ausdehnung der Theorie der Zwischenproducte auf die heterogenen Katalysen möglich; wir kommen auf diese Frage im nächsten Theile zurück.

Eine andere Theorie der Katalysen ist in neuerer Zeit von Euler aufgestellt worden. Indem er von der bereits früher erwogenen Annahme ausgeht, dass alle chemischen Reactionen Ionenreactionen sind, und dass ihre Geschwindigkeiten von der Concentration der wirksamen Ionen abhängen, nimmt er an, dass der katalytische Stoff die Eigenschaft hat, die Concentration der betheiligten Ionen zu ändern. Gemäss dieser veränderten Concentration muss denn auch die Reactionsgeschwindigkeit sich ändern.

---

1) Wie mir jüngst von befreundeter Seite mitgetheilt worden ist, besteht doch eine Möglichkeit, derartige Fälle zu construiren.

So viel ich sehe, ist eine solche Theorie formal durchführbar, d. h. es wird im Allgemeinen möglich sein, die erforderlichen Annahmen zu machen, ohne mit den Gesetzen der allgemeinen Chemie in Widerspruch zu gerathen. Ob sich aber nicht später Widersprüche einstellen werden, wenn man die erforderlichen Annahmen für eine Anzahl von Stoffen gemacht und dann deren wechselseitige Reactionsgeschwindigkeiten bestimmt hat, lässt sich jetzt noch nicht absehen. Insbesondere scheint mir eine wesentliche Schwierigkeit in der mehrfach constatirten Thatsache zu liegen, dass zwei Katalysatoren bei gemeinsamer Wirkung oft eine ganz unverhältnissmässig viel grössere Beschleunigung bewirken, als sich aus der Summirung ihrer Einzelwirkungen berechnet. Hier lässt sich nicht absehen, wie durch die gleichzeitige Wirkung der beiden Katalysatoren (z. B. Cupriion und Ferroion) so sehr viel grössere Mengen der reactionsfähigen Ionen gebildet werden sollen, als diese einzeln bilden können.

Man wird also auch von dieser Theorie sagen können, dass sie einige Katalysen, aber keineswegs alle wird deuten können.

Einen verwickelteren Fall katalytischer Erscheinungen bilden solche Vorgänge, wo die an der Reaction betheiligten Stoffe selbst noch ausserdem katalytisch wirken. Ich will von den hier vorhandenen Möglichkeiten der Autokatalyse nur den Fall erwähnen, dass durch die Reaction selbst ein Beschleuniger entsteht. Dies tritt beispielsweise bei einer der bekanntesten Reactionen, der Auflösung der Metalle in Salpetersäure, ein. Die hierbei entstehende salpetrige Säure beschleunigt in hohem Grade die Geschwindigkeit der Einwirkung der Salpetersäure, und dadurch kommt folgende Erscheinung zu Stande.

Wird das Metall in die reine Säure gebracht, so beginnt die Reaction äusserst langsam. In dem Maasse, wie sie fortschreitet, wird sie schneller und schliesslich stürmisch. Ist diese Periode vorüber, so verlangsamt sich der Process und endet mit einer gegen Null convergirenden Geschwindigkeit.

Dieses steht in auffallendem Widerspruche mit dem gewöhnlichen Verlauf der Reactionen, die mit der grössten Geschwindigkeit beginnen und wegen des allmählichen Verbrauches der wirkenden Stoffe immer langsamer werden.

Hier drängen sich die physiologischen Analogien unwiderstehlich auf: es ist eine typische Fiebererscheinung. Und noch eine andere wichtige physiologische Thatsache lässt sich auf gleichem Wege illustriren: die Gewöhnung und das Gedächtniss. Ich habe hier zwei Proben derselben Salpetersäure, die nur dadurch verschieden sind, dass ich in der einen vorher ein Stückchen Kupfer aufgelöst habe. Ich bringe zwei gleiche Kupferbleche in die beiden Säuren, die in demselben Wassergefäss stehen, damit sie die gleiche Temperatur haben. Alsbald sehen Sie, dass die Säure, welche schon einmal Kupfer gelöst hatte,

sich an diese Arbeit „gewöhnt“ hat und sie sehr geschickt und geschwind auszuführen beginnt, während die ungeübte Säure mit dem Kupfer nichts anzufangen weiss und ihre Wirkung so träge und ungeschickt ausführt, dass wir sie nicht abwarten können. Dass es sich um eine Katalyse durch salpetrige Säure handelt, wird ersichtlich, wenn ich etwas Natriumnitrit zur trägen Säure füge: alsbald wird auch hier das Kupfer angegriffen und aufgelöst.

3. Heterogene Katalyse.

Der bestbekannte Fall der heterogenen Katalyse ist die Wirkung des Platins auf verbrennliche Gasgemenge. Während früher die Erscheinungen am Knallgase im Vordergrunde des Interesses standen, ist gegenwärtig aus praktischen Gründen die Verbrennung des Schwefeldioxyds zu Trioxyd die wichtigste von allen geworden.

Auch in allen diesen Fällen handelt es sich wohl um Beschleunigungen langsamer Reactionen, wenn auch zugegeben werden muss, dass beispielsweise beim Knallgase noch keine Wasserbildung bei gewöhnlicher Temperatur ohne Katalysator nachgewiesen worden ist.

Aber die Stetigkeit der Aenderung der Geschwindigkeit mit der Temperatur berechtigt uns auch hier zu der Vermuthung, dass thatsächlich eine sehr kleine Reactionsgeschwindigkeit auch bei gewöhnlicher Temperatur stattfindet. Dass sie so besonders klein ist, entspricht der allgemeinen Thatsache, dass alle Gasreactionen verhältnissmässig sehr langsam stattfinden.

Diese wichtige Thatsache tritt z. B. deutlich bei den Versuchen von Berthelot und Péan de St. Gilles hervor. Es wurde die Esterbildung aus Säure und Alkohol bei gleicher Temperatur in zwei Versuchen verglichen, wo einerseits die Stoffe flüssig, andererseits dampfförmig waren. Wenn auch die Versuche keine genaue Berechnung gestatten, ob die Verlangsamung durch die starke Verminderung der Concentrationen vollständig erklärbar ist, oder ob sie (was wahrscheinlicher ist) noch mehr austrägt, kommt nicht in Frage; es genügt, zu wissen, dass durch den Uebergang in Dampfgestalt die Reactionsgeschwindigkeit etwa auf den 10000sten Theil herabgedrückt wurde.

Hierauf kann man nun nach Bodenstein eine Theorie der eben erwähnten Beschleunigungen gründen. Denken wir uns, dass aus dem gasförmigen Gebilde bei der vorhandenen Temperatur ein Theil in den flüssigen Zustand versetzt wird oder eine diesem Zustande entsprechende Dichte annimmt, so wird in diesem Theile die Reaction entsprechend schneller stattfinden, und die flüssigen Antheile der Ausgangsstoffe werden sich in die Endproducte verwandeln. Ist nun die verflüssigende oder verdichtende Ursache von der Beschaffenheit, dass sie nach dem Verbrauch des ersten verdichteten Theils neue Mengen der Ausgangsstoffe ver-

dichtet, so werden auch diese schnell reagiren, und so fort; das Ergebniss ist eine Beschleunigung der Reaction. Eine solche Wirkung seitens des Platins auf die Gase ist ganz wohl möglich.

Ich möchte auch mit dieser Darlegung nicht behaupten, dass die Platinkatalysen wirklich auf solche Weise erfolgen, sondern nur eine Möglichkeit darlegen, wie sie stattfinden könnten. Wir hätten dann hier den einfachsten und reinsten Fall der beschleunigenden Zwischenreaction, auf den ich bereits früher hingewiesen habe.

Wie Prof. Bredig mir jüngst mündlich dargelegt hat, lässt sich an einem flüssigen Mittel, in welchem kleine Massen einer anderen Flüssigkeit suspendirt sind, der Mechanismus einer solchen Beschleunigung erläutern. Wenn diese suspendirte Flüssigkeit die Eigenschaft hat, dass in ihr die Reaction der vorhandenen Stoffe schneller stattfindet, als in der Hauptmasse, so würden zunächst die dort befindlichen Antheile der Reagentien sich umwandeln. Es würde das Product in die äussere Flüssigkeit hinausdiffundiren, und ebenso würden neue Mengen der Reagentien hineintreten, da durch die Diffusion die Concentrationen der verschiedenen Stoffe immer wieder ausgeglichen werden. Es würde hierdurch nach einander die ganze Menge der Reagentien den Weg durch die suspendirte Flüssigkeit nehmen und dort reagiren; das Ergebniss ist eine Beschleunigung der Reaction.

Was hier dargelegt wurde, lässt sich nach Bredig vielleicht auch auf den Fall anwenden, dass der Katalysator im colloidalen Zustande in der Flüssigkeit vorhanden ist. Bekanntlich hat Prof. Bredig mit seinen Schülern in einer Reihe ausgezeichneter Arbeiten die mannigfaltigen und energischen katalytischen Wirkungen gezeigt und gemessen, welche das von ihm hergestellte colloidale Platin und andere colloidale Metalle ausüben können. Auch hat er wiederholt betont, dass die natürlich vorkommenden, so überaus wirksamen Katalysatoren, die Enzyme, sich gleichfalls immer im Zustande colloidaler Lösung oder Suspension befinden.

Auch diese Betrachtungen haben keinen anderen Anspruch, als den, experimentell prüfbare Vermuthungen zu sein. Ich möchte aber nicht unterlassen, Ihre Aufmerksamkeit darauf zu lenken, dass erst die Auffassung der Katalysatoren als Beschleuniger es ermöglicht hat, überhaupt solche wissenschaftlich prüfbaren Vermuthungen aufzustellen. Man versuche einmal, ähnliches mittelst Molecularschwingungen zu erreichen.

4. Die Enzyme.

Dass die Verzuckerung der Stärke durch Säuren der durch Malzauszug an die Seite zu stellen ist, war für Berzelius keinem Zweifel unterworfen. Die gleiche Auffassung hatten Payen und Persoz, welche

den wirksamen Stoff, die Diastase, isolirten oder wenigstens in concentrirter Gestalt herstellten. Das Gleiche gilt für Liebig und Wöhler, die in einer ausgezeichneten Arbeit die Zersetzung des Amygdalins unter dem katalytischen Einflusse des Emulsins studirten.

Auch haben die neueren Untersuchungen über die Gesetze der Enzymwirkungen meines Erachtens nichts ergeben, was irgend einen grundsätzlichen Unterschied zwischen beiden Arten der Wirkung aufzustellen Veranlassung gäbe. Im Gegentheil, die bereits erwähnten Arbeiten Bredig's haben weit eingehendere Uebereinstimmungen erkennen lassen, als sich vermuthen liess.

Wir werden also in den Enzymen Katalysatoren sehen, welche im Organismus während des Lebens der Zellen entstehen, und durch deren Wirkung das Lebewesen den grössten Theil seiner Aufgaben erledigt. Nicht nur Verdauung und Assimilation wird von Anfang bis zu Ende durch Enzyme geregelt, auch die fundamentale Lebensbethätigung der meisten der Organismen, die Beschaffung der erforderlichen chemischen Energie durch Verbrennung auf Kosten des Luftsauerstoffs, erfolgt unter entscheidender Mitwirkung von Enzymen und wäre ohne diese unmöglich. Denn der freie Sauerstoff ist, wie bekannt, ein sehr träger Stoff bei den Temperaturen der Organismen, und ohne Beschleunigung seiner Reactionsgeschwindigkeit wäre die Erhaltung des Lebens unmöglich.

Schon Berzelius hat auf die entscheidende Bedeutung hingewiesen, welche den Enzymen im Haushalte der Lebewesen zukommt. In der That, stellen wir die grundsätzliche Frage, was das physico-chemische Kennzeichen der Lebenserscheinungen ist, so wird die Antwort sein: eine selbstthätig geregelte Beschaffung und Verwendung der chemischen Energie für die Bethätigung, Erhaltung und Vermehrung des Lebewesens. Nun haben wir drei verschiedene Mittel, die chemische Reactionsgeschwindigkeit zu beeinflussen: die Temperatur, die Concentration und die Katalyse. Von diesen dreien ist die erste für den Organismus nicht beliebig einstellbar; ja, wir sehen, dass die höheren Thiere, denen besonders verwickelte und fein geregelte Leistungen obliegen, sich von diesem Einflusse ganz frei machen, indem sie thermostatische Vorrichtungen ausbilden, mittelst deren sie ihre Körpertemperatur innerhalb enger Grenzen constant erhalten können. Die Concentrationen sind vielfach durch die Löslichkeit der Stoffe begrenzt; es bleibt als überall anwendbares Mittel zur Regelung der Reactionsgeschwindigkeiten nur noch die Anwendung von Katalysatoren übrig, welche allerdings die Aufgabe mit idealer Vollkommenheit zu lösen gestatten.

Ich darf mich in diese physiologischen Fragen nicht vertiefen, wollte aber nicht unterlassen, auf die allgemeine Bedeutung der Katalyse nach dieser Richtung hinzuweisen. Dies scheint mir gerade zu unserer Zeit besonders nothwendig. Da die älteren Kenntnisse und

Begriffe der Chemie, die sich wesentlich auf die Darstellung und die systematischen und genetischen Zusammenhänge der Stoffe bezogen und die Gesetze des Gleichgewichts und der Umwandlung derselben ausser Betracht liessen, für die Erklärung der physiologischen Erscheinungen sich vielfach als unzulänglich erwiesen haben, so macht sich jetzt eine Auffassung geltend, als sei die Chemie und Physik überhaupt ausser Stande, zur Lösung des Räthsels vom Leben etwas Entscheidendes beizutragen. Hiergegen möchte ich mit allem Nachdruck darauf hinweisen, dass die physikalische oder allgemeine Chemie, in deren Gebiete diese Fragen zum allergrössten Theile fallen, eine sehr junge Wissenschaft ist. Diejenigen von Ihnen, welche 1892 die Heidelberger Naturforscher-Versammlung besucht haben, werden sich erinnern, dass sie so zu sagen damals zum ersten Male eben als erwachsenes Mädchen an die Oeffentlichkeit trat. Bisher hat sie noch so viel im eigenen Hause zu thun gefunden, dass ihre Bethätigung in den Nachbargebieten nur selten hat erfolgen können; auch darf nicht verschwiegen werden, dass manche unberufene Hand die hier vorhandenen Früchte hat pflücken wollen, ohne Verständniss, wie man mit ihnen umzugehen hat. Es ist meine volle wissenschaftliche Ueberzeugung, dass durch die neueren Fortschritte der Chemie der Physiologie eine Entwicklung bevorsteht, welche an Bedeutung der nichts nachgeben wird, welche Liebig seinerzeit durch die erste systematische Anwendung der chemischen Wissenschaft bewirkt hat.

Was nun die Eigenschaften der Enzyme anlangt, so sind diese vorwiegend bisher qualitativ untersucht worden. Die quantitative Arbeit stösst auf grosse Schwierigkeiten, die in der Veränderlichkeit dieser Stoffe liegen, die meist mit dem Verluste der katalytischen Wirkung verbunden ist. Die bisher untersuchten Enzyme zeigen im Wesentlichen die chemischen Eigenschaften der Eiweissstoffe, doch sind über die Frage nach ihrer chemischen Natur die Acten noch keineswegs geschlossen. Ich möchte meine Ansicht dahin aussprechen, dass bei eingehenderer Forschung Uebergänge zwischen den eiweissartigen Producten, an denen bisher Enzymwirkungen nachgewiesen worden sind, und den einfacher zusammengesetzten Stoffen der organischen Chemie sich werden finden lassen. So scheint beispielsweise die katalytische Beschleunigung gewisser Oxydationswirkungen, welche dem Hämoglobin eigen ist, auch in den eiweissfreien Abkömmlingen, insbesondere im Hämatin, noch erhalten zu sein, und eine Verfolgung dieser Verhältnisse in den Abbauproducten des Blutfarbstoffes wäre von nicht geringem Interesse.

In den wenigen Fällen, in denen der Geschwindigkeitsverlauf einer Enzymwirkung einigermaassen einwandfrei studirt worden ist, haben sich widersprechende Resultate gezeigt; während die einen Autoren eine weitgehende Uebereinstimmung mit den einfachen Gesetzen

gefunden haben, die für die anorganischen Katalysatoren gültig sind, constatirten die anderen Abweichungen. Einer mir vorliegenden, noch unveröffentlichten Untersuchung, der ich ein grosses Zutrauen zu schenken geneigt bin, entnehme ich, dass in der That das Zeitgesetz der Enzymwirkung von dem einfachsten Schema der Reactionsgeschwindigkeit abweicht; doch ist auch diese Frage noch keineswegs spruchreif.

Die Frage nach dem Umfange der Stoffe, welche durch ein gegebenes Enzym nach einem gewissen Schema verändert (z. B. hydrolytisch gespalten) werden, ist gleichfalls erst in ihren Anfangsstadien begriffen, und es scheinen hier ähnliche Mannigfaltigkeiten vorzuliegen, wie bei den anderen Katalysatoren. Die schönen Untersuchungen von E. Fischer haben gezeigt, dass gelegentlich sehr geringe Verschiedenheiten, welche die heutige Chemie als stereochemische deutet, Verschiedenheiten in der Wirkung eines gegebenen Enzyms verursachen können. Ob dies mit einer etwaigen asymmetrischen Beschaffenheit des Enzyms selbst zusammenhängt oder auf anderen Gründen beruht, scheint mir noch nicht unzweideutig entschieden zu sein.

Meine Herren! Ich muss zum Schlusse eilen. Ich habe Ihnen nicht einigermaassen abgerundete Ergebnisse eines wohluntersuchten Gebietes vorlegen können, sondern habe meine Aufgabe darin suchen müssen, Ihnen weite Gebiete fruchtbaren Landes zu weisen, das nur hier und da die ersten Anfänge systematischer Bebauung zeigt, dessen Fruchtbarkeit und Wichtigkeit aber bereits ausserhalb jedes Zweifels steht. Lag dies Land auch ausserhalb der Gebiete, in denen die Chemie der Vergangenheit sich heimisch fühlte, so hat unsere rastlos Chorwärts strebende Wissenschaft doch jetzt schon begonnen, mit ihren neuen Geräthen den neuen Acker fruchtbar zu machen. Dass es nicht nur das chemisch-wissenschaftliche Interesse ist, welches hier die Arbeit dankbar macht, glaube ich Ihnen am Beispiele der physiologischen Anwendungen bereits gezeigt zu haben. Dass aber auch in technischer Beziehung die wissenschaftliche Kenntniss und Beherrschung der katalytischen Erscheinungen unabsehbare Folgen haben muss, tritt schon jetzt bei der mehr zufälligen Anwendung dieses Hülfsmittels hervor. Der letzte grosse Triumph der deutschen technischen Chemie, die Synthese des Indigos, welche eben die wirthschaftlichen Verhältnisse ganzer Länder umgestaltet, enthält als einen wesentlichen Factor eine neue Katalyse: die Oxydation des Naphtalins durch Schwefelsäure lässt sich nur bei Gegenwart von Quecksilber genügend schnell und glatt durchführen. Dass die Schwefelsäure selbst sowohl nach dem alten wie dem neuen Verfahren auf katalytischem Wege gewonnen wird, brauche ich nur zu erwähnen. Ueberlegt man, dass die Beschleunigung der Reactionen durch katalytische Mittel ohne Aufwand von Energie, also in solchem Sinne gratis vor sich geht, und dass in aller Technik, also

auch in der chemischen, Zeit Geld ist, so sehen Sie, dass die systematische Benutzung katalytischer Hülfsmittel die tiefgehendsten Umwandlungen in der Technik erwarten lässt.

Meine Herren! Erlauben Sie mir, mit einer persönlichen Erinnerung zu schliessen. Als vor vier Jahren das Leipziger physikalisch-chemische Institut in sein schönes neues Heim übersiedelte, ging ich nicht ohne Sorge der neuen Periode entgegen. Die eben abgeschlossene war so fruchtbar gewesen. Grosse Gebiete, wie die chemische Dynamik und die Elektrochemie, hatten grundsätzliche Förderungen erfahren, und es schien, als sollte für das neue Heim an Stelle der frischfröhlichen Eroberungszüge ins neue Land nur noch die nüchterne Aufgabe der Durcharbeitung des Gewonnenen übrig bleiben. Da sagte ich mir: ein Stückchen Urwald wenigstens müssen wir haben, und das Glück des Vordringens ins möglichst Unbekannte wollen wir um keinen Preis missen. Und von allen Richtungen, die wir zu diesem Zweck einschlagen konnten, schien mir keine dankbarer und hoffnungsreicher, als die Katalyse. Ich hoffe auch Sie, meine Herren, überzeugt zu haben, dass ich mich in dieser Wahl nicht getäuscht habe.

Nach einer kurzen Pause wurde zur Erörterung über den gegenwärtigen Stand der Descendenztheorie übergegangen. Referate hatten die Herren H. de Vries-Amsterdam, E. Koken-Tübingen und H. E. Ziegler-Jena übernommen.

2.

Die Mutationen und die Mutationsperioden bei der Entstehung der Arten.[1]

Von

Hugo de Vries-Amsterdam.

Unerschütterlich waltet die Ueberzeugung von dem gemeinschaftlichen Ursprunge der Arten. Sie ist die einzig mögliche Erklärung der natürlichen Verwandtschaft und der vielseitigen Beziehungen, welche die Organismen verbinden. Jeder Theil der biologischen Wissenschaft

1) Der Vortrag erscheint in ausführlicherer Form unter demselben Titel bei Veit u. Comp. in Leipzig.

und fast jedes Jahr bringt neue Thatsachen, neue Stützen und neue Beweise. Die Bahn, welche DARWIN und HAECKEL der Descendenzlehre gebrochen, ist breiter und breiter geworden. Sie vereinigt jetzt die Forscher auf allen einschlägigen Gebieten.

Ueberall sind die Gegner zurückgedrängt. Aber eine letzte Burg ist ihnen geblieben. Unausgesetzt haben sie von dieser aus die neue Lehre bekämpft, ihre schwächste Seite aufsuchend.

Diese Burg ist die Constanz der Arten; der schwache Punkt der Theorie ist die Lehre von der ganz allmählichen Umwandlung. Die Constanz der Arten ist Beobachtungsthatsache. Ihr gegenüber stellt die Abstammungslehre die Annahme, dass die Veränderungen so langsame seien, dass sie sich erst im Laufe der Jahrhunderte zeigen würden.

Aber eine solche Behauptung hat nie völlig befriedigen können. DARWIN selbst kannte ihre Schwäche, und KÖLLIKER stellte ihr gegenüber die Lehre von den kleinen, aber plötzlichen Veränderungen. Durch diese, die Mutationen der älteren Forscher, sollten neue Arten wie mit einem Schlage aus den alten hervorgehen.

Immer mehr stellt es sich heraus, dass auf diesem Boden eine Vereinbarung möglich ist. Lässt die Abstammungslehre die Hypothese von der ganz allmählichen Umwandlung fallen, so erscheint die Art wieder als die in sich abgeschlossene Einheit, deren die Systematik bedarf. Allerdings nicht durch eine schöpferische Thätigkeit abgeschlossen für alle Ewigkeit, aber doch nach Zeit und Raum. Und nur darauf kommt es thatsächlich an.

Nach dieser Vorstellung hat jede Art ihren Anfang und ihr Ende. Sie verhält sich wie ein Individuum. Sie wird geboren, durchläuft eine kurze Jugend und steht im erwachsenen Alter ebenbürtig neben den älteren Arten. Nach längerem oder kürzerem Leben geht sie schliesslich zu Grunde.

Wir können diesen Vergleich noch weiter ausmalen und betrachten dazu die Gruppen nächstverwandter Arten, welche sich überall im System darbieten. Eine sehr bekannte Gruppe bilden die Rosen, deren wildwachsende Arten, weit über hundert an der Zahl, so nahe verwandt sind, dass nur die besten Kenner sie alle unterscheiden können. Die Brombeeren und die Weiden, die Gentianen der Alpen und zahllose andere Gattungen bieten weitere Beispiele.

Solche Gruppen bilden die sogenannten Nebelflecke der älteren Systematiker. Am häufigsten scheinen sie unter den Insekten vorzukommen. Ein Jeder, der eine Insektensammlung auch nur flüchtig betrachtet, ist erstaunt über die zahllosen, sich zum Verwechseln ähnlichen Sorten in manchen Gattungen. Die schwarzen Fliegen, die glänzenden Käfer und viele buntgefärbte Schmetterlinge füllen die Laden mit fast einförmigen Arten.

STANDFUSS, dessen Experimente über Erblichkeit und Bastardirung im Gebiete der Schmetterlinge ein so klares Licht auf diese Fragen geworfen haben, bedient sich in solchen Fällen des bezeichnenden Ausdruckes „explosiv erfolgende Umgestaltungen“. Jede artenreiche Gattung macht ihm den Eindruck einer Explosion. Es sieht aus, als ob eine ursprüngliche Art in Hunderte und Tausende von Stücken zersprengt wurde. Die einzelnen Stücke sind vielfach verloren gegangen; die am Leben gebliebenen bilden die jetzigen Arten. Die Gattung selbst ist eigentlich nur die ursprüngliche Art, die Sammelart oder Grossart.

Und sind in manchen Gattungen die Unterschiede zwischen den einzelnen Arten zu gross, um in solcher Weise mit einem Schlage entstanden zu sein, so giebt es dafür wiederum andere Gruppen, in denen der STANDFUSS'schen Auffassung wohl nichts im Wege steht. Ich meine jene Arten, welche sich ihren Unterabtheilungen gegenüber wie Gattungen verhalten, da sie, wie diese, aus mehr oder weniger zahlreichen, gut unterschiedenen Unterarten aufgebaut sind. Solcher echten Sammelarten giebt es gar viele, sowohl unter den Thieren, als unter den Pflanzen. Draba verna, das Hungerblümchen, bildet das bekannteste Beispiel, die Selbständigkeit und Constanz ihrer 200 Unterarten ist durch die Untersuchungen von JORDAN, THURET, DE BARY, ROSEN und vielen anderen Forschern über allen Zweifel erhoben. Das dreifarbige Veilchen und das Sonnenröschen (Helianthemum vulgare) sind weitere Beispiele, und fast jede Familie unserer Flora enthält eine oder mehrere solcher vielgestalteten Arten.

Eine jede solche Gruppe, sei sie nun Gattung oder Sippe oder Sammelart, verhält sich wie eine Familie in der menschlichen Gesellschaft. Ihre einzelnen Glieder, die Arten oder Unterarten, verhalten sich zu einander wie Geschwister. Allerdings sind einzelne Gruppen, wie die soeben genannte Draba verna, dazu vielleicht allzu reich an Kindern. Aber solche Fälle sind Ausnahmen, und Arten mit einigen wenigen Unterarten bilden weitaus die Mehrzahl.

Eine jede solche Familie bildet ein in sich geschlossenes Ganzes. Die Individuen sind hier aber die Arten. Vom Stamme spreizen sie nach allen Richtungen aus. Bald sind die Divergenzen grösser, bald sind sie kleiner; bald liegen sie nach dieser Seite, bald nach jener. Wie in einem Stammbaume sind sie unten, mit den Eltern, verbunden und trennen sie sich immer weiter von einander.

Um diese Verhältnisse darzustellen, kann man sich der gewöhnlichen Gestalt eines Stammbaumes bedienen. Je nach den einzelnen Fällen ist die Anzahl der Verzweigungen eine kleinere oder eine grössere. Jeder Zweig aber stellt eine Art oder Unterart dar, jeder hat seinen Anfang und sein Ende, jeder bildet eine in sich abgeschlossene Einheit. Auch im hohen Alter ist die einzelne Art genau dieselbe, welche sie in ihrer ersten Jugend war.

Dieses Princip vereinigt also in einfacher Weise den Satz von der Constanz der Arten mit der Theorie ihres gemeinschaftlichen Ursprunges. Die Arten verhalten sich zu der Urform ihrer Gattungen, wie Kinder zu ihren Eltern.

Jetzt wollen wir aber einen Schritt weiter gehen und von dem Bildniss der Familie zu demjenigen ihrer Ahnenreihe aufsteigen. Und mit einem kühnen Sprunge gelangen wir dann zu der Form eines Stammbaumes, welche in seinem Verlauf einem Chara-Spross (Armeuchtergewächs) annähernd ähnlich ist.

Denn für jede explosionsartige Gruppe gilt der Satz, dass Viele gerufen sind, aber nur Wenige auserwählt werden. Die meisten Arten leben eine kürzere oder eine längere Zeit, ohne jemals, wenn ich so sagen darf, eine neue Familie zu begründen. Sie mögen Jahre oder Jahrhunderte oder Aeonen fortleben, die Spur von ihren Erdentagen wird schliesslich völlig untergehn.

Andere sind glücklicher; nach einer oft langen Frist erwachen sie zu neuem Leben. Selbst alt geworden, und obwohl sich selber gleich geblieben, doch den sich stetig ändernden Lebensumständen nicht mehr genügend, explodiren sie plötzlich und geben zahlreichen neuen Formen das Leben.

Jugendfrisch nehmen diese den Platz neben ihren Eltern ein. Aber ungleich ausgestattet, sind die einen bevorzugt, die anderen im Nachtheil. Die ersteren vermehren sich, die letzteren bleiben zurück. Wohl mancher schwache Bruder bleibt nur wenige Jahre am Leben. Andere finden an geschützten Stellen die ihnen zusagenden Bedingungen und erhalten sich, so lange ihnen dieser Schutz gewährt wird. Nur die besten sind siegreich, überwinden alle Schwierigkeiten und erobern sich ein grosses Gebiet, auf dem sie sich, ohne sich zu verändern, von Jahr zu Jahr und von Jahrhundert zu Jahrhundert ausbreiten.

Aber je grösser das Gebiet, desto abwechselnder sind die Lebenslagen in den einzelnen Theilen, und früher oder spàther geräth eine solche siegreiche Art irgendwo unter Umstände, welche auch sie zu einer Explosion veranlassen. Dann fängt das frühere Spiel von Neuem an:

Das Alte stürzt, es ändert sich die Zeit,
Und neues Leben blüht aus den Ruinen.

Und so geht es immer weiter. Schritt für Schritt gelangen die auserwählten Arten in Umwandlungsperioden, und bringen sie neue Formen hervor, von denen wiederum nur einzelne ihre Schwestern überleben. Diese Umwandlungs- oder Mutationsperioden sind es, in denen die neuen Arten entstehen. Sie müssen, nach geologischen Begriffen, wohl meist kurz gewesen sein und von einander durch lange Zeiträume getrennt. In diesen lebten die Typen ohne irgend welche Verände-

rung, in völliger Constanz und, wie der Dichter sagt, „jeder seiner Würde froh", ruhig weiter.

Immutable Zeiten wechseln also mit kurzen Perioden von Mutationen. Und je nach der zufälligen Lebenslage, welche die letzteren herbeiführt, werden die neuen Formen mehr oder weniger zahlreich sein, mehr oder weniger stark divergiren, mehr rückwärts oder seitlich abschweifen, oder mehr im Sinne des Fortschrittes stattfinden.

So denken wir uns den Stammbaum des ganzen Pflanzen- und Thierreiches aufgebaut. Von der Jetztzeit aus könnten wir die Zeichnung nach demselben Schema bis zu den allerältesten Lebewesen fortsetzen. Im Bilde kommen wir von den Arten zu den Sammelarten, von diesen zu den Untergattungen, von dort zu den Gattungen. Den älteren Explosionen entsprächen die Unterfamilien und Familien und alle die höheren Abstufungen des Systems.

Ein Stammbaum, wie der so gezeichnete, ist seinem inneren Wesen nach nur eine hypothetische Vorstellung. Die einzelnen Explosionen haben in längst verflogenen Zeiten stattgefunden; es ist unmöglich, ihr Wesen durch die unmittelbare Beobachtung kennen zu lernen. Nur die vergleichenden und systematischen Studien gestatten uns, ein Bild zu entwerfen. Das lückenhafte Material giebt nur ein lückenhaftes Bild.

Ueber die feineren Züge des Vorganges wissen wir nichts und werden wir wohl kaum je eine befriedigende Kenntniss erhalten können.

Glücklicherweise giebt es eine Ausnahme, einen Angriffspunkt für die Forschung, von dem aus sie dann alles Uebrige beurtheilen und anordnen kann. Ich meine die allerjüngsten Artzertrümmerungen. Denn es liegt offenbar kein Grund vor für die Annahme, dass die Arten nur in geologischen Zeiten entstanden seien. Der Process der Artbildung muss ohne Zweifel auch jetzt noch fortdauern. Sind auch weitaus die meisten Arten jetzt völlig unveränderlich, die Vermuthung ist erlaubt, dass es unter ihnen, hier und dort, wenn auch vielleicht nur sehr selten, einzelne geben wird, welche sich gerade in einer solchen Umwandlungsperiode befinden.

In manchem Stamme, in mancher Gattung, vielleicht in ganzen Familien mag es augenblicklich nur ruhende Arten geben. Dieses schliesst aber die Möglichkeit nicht aus, dass es in anderen Gruppen einzelne thätige, fortschreitende, sich Schritt für Schritt verändernde und sich in ganze Reihen neuer Typen umwandelnde Sorten giebt.

Gehen wir von solchen Ueberlegungen aus, so gelangen wir zu einer wichtigen Folgerung. Denn es gilt jetzt, den grossen Schritt zu thun, der von der Theorie zu der Erfahrung hinüberleitet. Es wird die Aufgabe, eine oder mehrere Arten aufzufinden, welche augenblick-

lich nicht constant sind, welche sich gerade in einer Mutationsperiode befinden. Nur auf diesem Wege kann man die erforderliche Grundlage zum weiteren Ausbau der Theorie gewinnen. Nur so kann man ihr überhaupt Sicherheit und Genauigkeit geben.

Die Standfuss'sche „explosiv erfolgende Umgestaltung" muss Beobachtungsthatsache werden. Und wenn sie solche auch nur in einem Falle ist, so ist das Princip bewiesen und das Schema für die weitere Ausmalung des Stammbaumes gewonnen.

Viele Pflanzen habe ich in dieser Richtung geprüft, doch nur eine hat meinen Erwartungen entsprochen. Es war dies die Oenothera Lamarckiana, die grossblumige Nachtkerze, welche bei uns mit anderen Arten derselben Gattung aus Amerika eingeführt worden ist, und welche seit etwa einem Jahrhundert in verschiedenen Ländern Europas sich ganz langsam verbreitet. Betrachten wir sie etwas genauer. Es ist ein stattliches Gewächs, mit einem gerade aufsteigenden Stamme, der fast Manneshöhe erreicht. Aus dem Wurzelhalse steigt im Kreise eine Anzahl von Nebenstengeln hervor, oft selber verzweigt wie der Hauptstamm. Im Hochsommer trägt jeder Stengel und mancher Ast eine Krone von grossen, gelben, leuchtenden Blumen.

Diese schöne Nachtkerze besitzt nun die seltene Eigenschaft, jährlich eine gewisse Anzahl neuer Arten hervorzubringen. Sie ist nicht starr und unabänderlich wie andere Pflanzen, sondern befindet sich offenbar in einer Umwandlungsperiode. Und zwar erzeugt sie die neuen Arten in stattlicher Menge. Mehrere unter diesen aber sind schwach, andere unfruchtbar oder so selten, dass ihre weitere Cultur bis jetzt nicht gelungen ist. Ich beschränke mich deshalb auf die wichtigsten und wähle als solche sieben Formen aus. Diese unterscheiden sich von der Mutterart nur in geringem Maasse. Nur eine genaue Betrachtung lehrt, dass etwas Neues entstanden ist. Einige, wie der Zwerg (O. nanella) und die O. lata fallen bald dadurch auf, dass sie von niederer Gestalt sind, andere sind von einem feineren Baue und von schlankem Wuchs (O. scintillans und O. oblonga), einige sehr schwach (O. albida) und andere wiederum äusserst kräftig (O. gigas und O. rubrinervis).

Aber die Formen der Blätter sind deutlich verschieden, ebenso ihre Farbe und ihre Oberfläche. Dunkelgrün und glänzend bei der O. scintillans, sind sie blassgrün und runzelig bei der O. lata. Schmal und spitz bei der ersteren, sind sie rundlich und breit bei der letzteren Art.

Je genauer man zusieht, um so deutlicher prägen sich die verschiedenen Typen aus. Um so klarer wird es aber dabei, dass nicht

ein Chaos neuer Gestalten oder eine lange Reihe sich ähnlicher und in einander allmählich übergehender Formen entstanden ist.

Alle Gestalten sind ähnlich, doch keine gleichet der anderen.

Jede dieser neuen Gestalten entstand aus einem Samen, welcher auf der Mutterart reifte, sei es im Freien, sei es in meinem Versuchsgarten, bei künstlicher Befruchtung mit dem eigenen Blüthenstaub.

Die neuen Formen verhalten sich zu einander, wie die oben erwähnten Arten von Fliegen und Schmetterlingen, von Rosen und Weiden, von Brombeeren und Hieracium, und wie die Unterarten von Draba, Viola und zahlreichen anderen vielgestaltigen Sippen. Kleine, dem Laien oft unmerkliche Unterschiede trennen sie, aber sie trennen sie ebenso scharf, wie die Grenzen zwischen manchen nächst verwandten, von den besten Systematikern anerkannten Arten. Sie bilden eine förmliche Explosionsgruppe, mit allen Eigenthümlichkeiten, welche wir für solche Gruppen ausmalten.

Einmal aus der Mutterart hervorgetreten, sind die neuen Arten sofort constant. Es ist dazu keine Reihe von Generationen, kein Kampf ums Dasein, keine Elimination der untauglichen, keine Auslese erforderlich. Ich wähle als Beispiel die Oenothera gigas. Sie ist von derselben Höhe wie die Mutterart, aber der Stengel ist dicker, dichter beblättert, mit einer breiteren Krone weit geöffneter Blumen und mit viel dichteren Knospen. Sie entstand in meiner Cultur des Jahres 1895 in einem einzigen Exemplare, und ich habe dieses erste Exemplar sogleich bei der Blüthe künstlich mit sich selbst befruchtet, unter völligem Ausschluss des Insektenbesuches.

Die Aussaat dieses reinen Samens fand im nächsten Frühling statt (1897). Sobald das dritte und vierte Blatt sich entfalteten, zeigte sich der Unterschied. Alle die jungen Pflänzchen waren anders als die der Mutterart, kräftiger und breiter beblättert, dunkler von Farbe. Sie waren einige Hunderte an der Zahl, bildeten aber offenbar nur einen einzigen Typus. Und als im Laufe des Sommers sich erst die Stengel, dann die Blüthenknospen und Blüthen und endlich die Früchte zeigten, war es über allen Zweifel erhoben, dass eine neue und völlig constante Art entstanden war.

In dieser Weise sind auch meine übrigen Arten entstanden, plötzlich und ohne Uebergänge. Und so darf man sich somit vorstellen, dass Arten in der Natur im Allgemeinen auftreten — nicht allmählich, unter dem Einflusse der Aussenwelt sich dieser langsam anpassend, sondern mit einem Sprunge, unabhängig von der Umgebung. Die Arten sind keine willkürlichen Gruppen, zwischen denen der Mensch zur besseren Uebersicht hier und dort Grenzen macht; sie sind scharf umschriebene, nach Zeit und Raum abgegrenzte, durchaus selbständige Wesen.

Es ist aber gar nicht erforderlich, dass jede Art nur in einem einzigen Individuum entstehe. Derselbe Sprung, dieselbe Mutation, kann sich wiederholen, wenn nur die Ursache dazu vorhanden bleibt. Und so war es denn auch im Allgemeinen in meinen Versuchen. Man hat nur dafür zu sorgen, dass die Culturen den nöthigen Umfang haben, dass sie nicht aus wenigen Hunderten, sondern aus mehreren Tausenden von Individuen bestehen. Wo solches der Fall ist, stellen sich bald zwei neue Regeln heraus. Denn einerseits findet man in derselben Aussaat ganz gewöhnlich mehrere Exemplare der O. lata, der O. nanella, der O. oblonga und oft auch der anderen neuen Typen. Andererseits aber treten in den auf einander folgenden Jahren immer wieder dieselben Typen aus dem gemeinsamen Stamm zum Vorschein. Die Anzahl der neuen Arten ist keineswegs eine unbeschränkte; ganz im Gegentheil sind es deren nur wenige, welche alljährlich und in vielen Exemplaren auftreten. Neben den häufigeren kommen selbstverständlich auch seltenere vor, wie die O. gigas und einige andere.

Jetzt aber müssen wir unseren speciellen Fall verlassen und von den einzelnen Thatsachen wieder zu unseren allgemeineren Erörterungen zurückkehren. Und hier erhebt sich zunächst die Frage, ob die Beobachtungen an der Oenothera nun auch das Schema für jede andere Artbildung geben sollen. Dieses ist aber weder meine Meinung, noch entspricht es meiner Erfahrung. Nur für die fortschreitende Entwicklung, nicht aber für die zahllosen Rückschritte und Seitenschritte im System soll unser Schema gelten.

Der Fortschritt in der Lebewelt muss aber im Grossen und Ganzen ein stossweiser gewesen sein. Während Jahrtausenden bleibt alles in Ruhe. Die wildwachsenden Pflanzen unserer heimischen Flora sind jetzt nicht wesentlich andere, als sie zu den Zeiten der Germanen waren. Von Zeit zu Zeit aber versucht es die Natur, etwas Neues und Besseres zu schaffen. Nun ergreift sie jene, das andere Mal wieder eine andere Art. Es regt sich die schaffende Gewalt, und neue Formen entspringen auf einmal einem alten, bis dahin unveränderlichen Stamme. Aber die schöpferische Thätigkeit fügt sich nicht nach den gerade herrschenden Lebensumständen; sie schöpft nur, um Neues zu bilden; sie erhöht den Reichthum der Formen, überlässt es aber diesen selbst, zu versuchen, sich in den Umständen zurecht zu finden. Der einen ist das Glück günstig, der anderen nicht. Und dieses entscheidet, was am Schlusse überleben wird, was also zur Fortsetzung des Stammbaumes wird auserlesen werden.

Jeder Schritt im Evolutionsprocesse bedeutet für uns eine Mutation, und daraus leiten wir den wichtigen Satz ab: So viele Schritte die Organisation vom Anfang an gemacht hat, so viele Mutationsperioden muss es dabei gegeben haben.

Knüpfen wir zunächst an unser obiges Schema an. Es wäre die

Aufgabe zu lösen, den Stammbaum nach unten so weit wie möglich fortzusetzen. Offenbar würde man dabei vom Schema nicht abzuweichen brauchen. Den letzten Mutationsperioden, welche uns die Erfahrung und die engere Systematik der nächsten Verwandten unserer Oenothera kennen lehren, müssen andere, ebensolche Perioden vorangegangen sein. Auf der ganzen Linie, bis an das unterste Ende, gruppiren sich die Seitenzweige zu Kränzen, welche zwischen sich unverzweigte Strecken frei lassen.

Jeder Kranz ist eine Mutationsperiode, in jeder denken wir uns, dass die Organisation nur einen Schritt hinaufgestiegen ist. Und zwar in jedem besonderen Fall in der speciellen Richtung, welche zu derjenigen Art führt, die wir als Gipfel für das Ganze gewählt haben. Also zunächst für die Oenothera Lamarckiana.

Wie viele solcher Schritte hat es gebraucht, um zu einer der jetzt lebenden Arten zu gelangen? Offenbar ebenso viele, als die Art jetzt Eigenschaften besitzt, wenn man unter Eigenschaften nicht einfach die äusserlich sichtbaren Merkmale versteht, sondern die Einheiten, aus denen alle morphologischen und physiologischen Lebensäusserungen aufgebaut sind. Solcher Einheiten giebt es in jeder der höheren Pflanzen wahrscheinlich wohl einige Tausende, und ebenso viele Mutationsperioden müssen ihre Vorfahren somit vom Anfang an durchlaufen haben.

Einer der wichtigsten Einwände, der zugleich zu den ersten gehört, welche zu DARWIN's Zeiten gegen die Descendenzlehre erhoben wurden, ist der Dauer des Lebens auf der Erde entnommen. Wie unendlich lange muss die Erde schon Lebewesen getragen haben, wenn diese sich in der von DARWIN geforderten stetigen Reihenfolge und mit der Langsamkeit des gewöhnlichen Ausleseprocesses entwickelt haben sollen. Die Arten sieht man sich nicht verändern; Sorten, welche seit Jahrhunderten und vielleicht seit einem Jahrtausend oder mehr an getrennten Fundorten wachsen, sind dennoch nicht merklich verschieden und haben sich somit seit dem Augenblick ihrer Trennung auch wohl nicht verändert.

Soll es von Anfang an so langsam gegangen sein, es würden keine Millionen, keine Milliarden von Jahrhunderten ausreichen, um die Entstehung der höchsten organisirten Wesen zu erklären. Es ist dieser Einwand so vielfach ausgemalt worden und Jedem so geläufig, dass es überflüssig wäre, hier darauf tiefer einzugehen.

Aber er verliert seine ganze Bedeutung, wenn unsere Vorstellung von den gelegentlichen stossweisen Umwandlungen richtig ist. Einige Tausende von Mutationsperioden reichen aus, und es fragt sich nur noch, wie rasch diese auf einander folgen können. Waren die Zeitintervalle, welche sie trennten, lange oder kurze? Blieben die einzelnen Arten viele oder nur einige Jahrhunderte unverändert, bevor sie sich

zu spalten anfingen und neuen Formen das Leben verliehen? Offenbar müssen beide Extreme vorgekommen sein. Im System wird es hier eine rasche, dort eine langsame, meist aber wohl eine mittlere Geschwindigkeit gegeben haben. Je höher die erreichte Organisation in der Jetztzeit ist, um so rascher muss selbstverständlich der Fortschritt gewesen sein.

Es fragt sich also, wie viele Mutationsperioden haben die Vorfahren einer gewöhnlichen Blüthenpflanze seit dem ersten Anfang des Lebens auf Erden vermuthlich durchlaufen?

Um diese Frage zu beantworten, stellen wir zunächst eine einfache Beziehung auf. Kennt man die ganze Zeit des Entwicklungsprocesses, und kennt man die mittlere Dauer eines Zeitintervalles zwischen zwei auf einander folgenden Umwandlungsperioden, so ist die Anzahl dieser letzteren offenbar gleich dem Quotienten der beiden ersteren.

Oder umgekehrt: für eine gegebene Art ist das Product aus der Anzahl der ihr vorangegangenen Mutationsperioden mit dem mittleren Zeitintervalle zwischen diesen der ganzen biologischen Zeit gleich.

Diesen Satz könnte man kurzweg die biochronische Gleichung nennen. Er theilt das Leben nach Zeiteinheiten, die Zeit nach Lebenseinheiten ein.

Leider ist es eine Gleichung aus drei unbekannten Grössen. Aber jede von ihnen lässt sich in annähernder und wenigstens vorläufig befriedigender Weise berechnen. Für die biologische Zeit ist solches allgemein bekannt. Mehrere der berühmtesten Physiker und Geologen haben solche Berechnungen angestellt. Ich erinnere nur an Helmholtz und Thomson, an George Darwin, Joly, Sollas und Dubois.

Und obgleich solche Berechnungen selbstverständlich vielseitiger Kritik ausgesetzt sind, so führen sie doch auf sehr verschiedenen Wegen zu einem übereinstimmenden Resultat. Lord Kelvin, der vor wenigen Jahren die einschlägigen Daten kritisch zusammengestellt hat, gelangt zu dem Endschlusse, dass man vorläufig und mit aller Reserve die Dauer des Lebens auf Erden auf 24 Millionen von Jahren stellen darf.

Wir nehmen somit diese Zahl für unsere biochronische Gleichung an. Und da wir die Anzahl der elementaren Eigenschaften einer höheren Pflanze mit grosser Wahrscheinlichkeit auf einige Tausende schätzen können, so ergiebt sich, dass auch das Zeitintervall zwischen zwei Mutationsperioden im Mittel einige Tausende von Jahren gewährt haben muss.

Directe Daten zur Ermittelung dieses Werthes haben wir nur sehr wenige. Am besten geeignet für eine vorläufige, wenn auch sehr grobe Schätzung scheinen mir die Ueberreste, welche in den aegyptischen Gräbern in den Pyramiden neben den Mumien erhalten sind. Blumen, Blätter und Früchte, Getreide, Stroh und die Unkräuter der

Aecker sind im besten Zustande aufbewahrt, und sogar die Blüthenfarbe scheint unverändert. Sie stimmen bis in's kleinste Detail mit den jetzt lebenden Arten überein. Zahlreiche Arten jener Gegend sind also zweifelsohne seit dem Baue der Pyramiden, also während etwa 4000 Jahren unverändert geblieben.

Es mag willkürlich scheinen, auf diese Zahl ein grosses Gewicht zu legen. Aber zahlreiche andere Erwägungen führen zu ähnlichen Schätzungen. Die Ueberbleibsel der Pfahlbauten und die Abbildungen auf römischen Münzen sind zu bekannt, um sie hier ausführlich zu erwähnen. Andererseits führt die Seltenheit mutirender Pflanzen im Vergleich zu immutablen oder auch die geringe Anzahl der artenreichen, explosionsartigen Gattungen im Verhältniss zu den gewöhnlichen Arten unserer Flora zu ähnlichen Ermittelungen.

Aus allen diesen nehmen wir somit vorläufig die Ziffer 4000 als erste Annäherung an. Wir erhalten dann für die Anzahl der Mutationsperioden den Quotient $\frac{24\,000\,000}{4000} = 6000$ und stellen somit fest, dass die Entwicklung einer gewöhnlichen Blüthenpflanze im Allgemeinen höchstens 6000 Mutationsperioden erfordert hat.

Auf irgend welche Genauigkeit machen diese Zahlen keinen Anspruch. Aber sie sind geeignet, unseren Vorstellungen eine Grundlage zu geben, auf der sich weitere Berechnungen aufbauen lassen. Namentlich aber sollen sie zeigen, dass die einschlägigen Fragen gar nicht weit ausserhalb des Gebietes der Wissenschaft liegen, sondern im Gegentheil unserem Forschungsgeiste ganz gut zugänglich sind.

Erscheint uns ihre Lösung im Einklange mit unseren sonstigen Kenntnissen erst möglich, so wird gewiss, früher oder später, das Material dazu herbeigebracht werden.

Die ganze Complication der organischen Welt ist behufs eingehender Analyse in Einheiten zu zerlegen; diese Einheiten sind in der Systematik die constanten Arten; in der Morphologie und Physiologie sind sie die elementaren Eigenschaften. Die Systematik nähert sich dem Artbegriffe immer mehr; möge es bald auch der Biologie gelingen, zu beweisen, dass auch die Eigenschaften der Organismen aus scharf von einander unterschiedenen Einheiten aufgebaut sind.

3.

Palaeontologie und Descendenzlehre.

Von

E. Koken-Tübingen.

Die Entwicklung des jetzigen Zustandes der Erde und ihrer Bewohner aus früheren ist durch unzweideutige Documente, die in der Erdrinde eingeschlossenen Versteinerungen, urkundlich gesichert, und dieses Archiv, dessen planmässige Durchforschung Ende des 18. und Anfang des 19. Jahrhunderts begann, ist der Ausgangspunkt für die ersten Formen einer Successions-, später einer Entwicklungslehre geworden.

Die biblische Schöpfunglehre wurde ersetzt durch die Katastrophentheorie der CUVIER'schen Schule, welcher LAMARCK, der gedankenreiche Zoologe und Palaeontologe, seine Entwicklungslehre entgegenstellte. LAMARCK's kühne, nicht immer hinreichend gestützte Annahmen vermochten keine grössere Bewegung zu entfesseln, obwohl viele Palaeontologen ähnlich dachten wie er und in manchen Schriften jener Zeit sich anklingende Aussprüche sammeln lassen.

Erst DARWIN's Eingreifen rief alle schlummernden Keime wach. Die alten Beobachtungen über die Arten und Gattungen der früheren Erdperioden erschienen in neuem Lichte, und mit erhöhtem Interesse wurden ihre Beziehungen zu einander erörtert. Dass viele der damals entworfenen Stammbäume und viele Folgerungen, welche den Palaeontologen mehr aufgedrängt, als von ihnen selbst entwickelt wurden, unhaltbar waren, hat sich bald gezeigt, aber dennoch ist die Ueberzeugung von der inneren Berechtigung der Abstammungslehre in der Palaeontologie stärker gefestigt denn je, und wenn die Selectionslehre, wie sie DARWIN geschaffen hat, unter den Palaeontologen wenige Vertreter hat und die Form der Abstammungslehre, wie sie allmählich bei uns sich entwickelt hat, mehr auf LAMARCK zurückweist, so ist doch der Name DARWIN's unvergesslich mit unserer Wissenschaft verbunden.

Der Palaeontologe ist nicht in der Lage, über Vererbung und Variabilität Versuche anzustellen, sein Material ist ein todtes. Er kann auch seine Untersuchungen nicht auf beliebige Theile der Organismen ausdehnen, denn meist liegen ihm nur die den Körper stützenden oder

schützenden Hartgebilde und von diesen auch oft nur Fragmente vor, die mühsam in Zusammenhang gebracht werden müssen. In vielen Gesteinen und leider gerade in den ältesten, wo wir mit erhöhtem Interesse den Formen des Lebens nachspüren, sind durch geologische Vorgänge, Faltungen und Schieferung, Streckung und Pressung des Gesteins, durch allmählich aufsteigende Erhitzung und chemische Umwandlung oder durch Contact mit glühenden Magma- und Lava-Massen die Versteinerungen entstellt oder ganz zerstört.

Dennoch und trotzdem noch viele andere Umstände eine grosse Lückenhaftigkeit des Gesammtmaterials bedingen — es sei nur auf die Schwierigkeit der Erhaltung der Tiefseethiere und auf die nur unter gewissen Umständen mögliche Erhaltung der auf dem Lande sterbenden Organismen verwiesen — dennoch ist das Material ein ausserordentlich grosses und dadurch, dass es zeitlich genau geordnet ist, ein unschätzbar werthvolles. Zum exacten Beweis der Abstammungslehre wollen wir es gar nicht verwenden. Wir stellen uns auf ihren Boden, da sie allein den complicirten Erscheinungen der Aufeinanderfolge der Organismen gerecht wird und unser Causalbedürfniss befriedigt. Wir untersuchen, welches der Gang der Entwicklung in grossen Abtheilungen der Organismen war, wir vergleichen die verschiedenen Stämme mit einander, wir sehen uns um, ob Reihenfolge und Richtung auf gewisse Impulse, sei es mechanische oder geologische, zurückgeführt werden kann. Wir untersuchen, ob die Reihen sich stetig differenziren und specialisiren, ob eine Richtung festgehalten wird, schwankt oder abbiegt, wo die Reihen abbrechen, wann gewisse Geschlechter aussterben, und unter welchen Umständen sie verschwinden.

Diese rein palaeontologische Methode hat uns mehr von Darwin entfernt, als in den ersten Jahrzehnten nach dem Erscheinen seines Werkes für möglich gehalten werden konnte. Damals wurde die Palaeontologie überrumpelt. Man griff kühn in ihre Vorräthe hinein, um den lebenden Organismen die geforderten Ahnen zu geben, und noch viel kühner ergänzte man die Stammbäume nach den Vorgängen in der Ontogenie, nach dem biogenetischen Gesetze. Die Palaeontologie, welche auf die Ergänzung ihres Materials durch glückliche Funde warten muss, wurde eine Zeit lang mitgerissen. Die Durcharbeitung immer neu zuströmender Funde erforderte aber zu viel Einzelarbeit, als dass man sich lebhaft an den grossen Debatten hätte betheiligen können. Die Palaeontologie blieb hier zurück und wurde damit zugleich dem Einfluss der radicalen Darwinisten mehr und mehr entzogen. Es war wohl vielen Palaeontologen selbst entgangen, dass die meisten palaeontologischen Monographien nicht im eigentlich darwinischen Sinne ausfielen, dass die Art der Veränderungen meist auf Anpassung (subjectives Anpassen), auf physikalische Beeinflussung und mechanische Wirkungen und Gegenwirkungen zurückgeführt wurde, dass mit dem Kampf ums

Dasein, der so häufig genannt wurde, nicht der zwischen Individuen einer Art gemeint war, sondern jene allgemeine Concurrenz zwischen ganz verschiedenen Arten und Geschlechtern, die vielmehr in LAMARCK's Anschauungsweise eine Rolle spielt, als in DARWIN's Selectionsprincip.

Wenn abgesehen wird von der ältesten Zeit organischen Lebens, über welche die präcambrischen Schichten sich bisher ausschweigen [1], so beherrscht die ganze uns bekannte Zeit der Erdgeschichte das Gesetz eines bestimmten Fortschreitens.

Auf einfachere Typen folgen complicirtere, oder jedenfalls treten in jungen Perioden die complicirter gebauten Phyla stärker heraus.

Am weitesten lässt sich die Geschichte des Wirbelthierstammes übersehen, denn diese kennen wir fast von ihren Anfängen. Wenn man hier von einem Zeitalter der Fische, Reptilien, Säugethiere spricht, so ist das nicht unberechtigt. Es ist ja möglich, dass die Anfänge der Reptilien viel weiter zurückreichen, als die jetzt bekannten Reste annehmen lassen, aber das wird nichts daran ändern, dass im Obersilur, Devon und Carbon die Fische die dominirende Abtheilung der Vertebraten sind, und dass die Säugethiere erst im Beginn der Tertiärzeit die Reptilien in der Herrschaft ablösen.

Auch in den anderen Stämmen sehen wir zu bestimmten Zeiten diese oder jene Gruppe auffallend breit entwickelt und im Allgemeinen solche früher auftreten, bei denen wir die ursprünglichere Organisation voraussetzen können. Vor Allem aber bemerken wir, dass die grossen geologischen Formationen sich palaeontologisch scharf charakterisiren lassen, und doch sind sie durch keine Katastrophen geschieden, und niemals reissen die Fäden ganz ab; auch die grössten Abschnitte gehen hier oder dort continuirlich in einander über, wie die palaeozoische Aera in der Salzkette Indiens unmerklich in die mesozoische hinübergleitet. Die Gattung Lingula lebt in den cambrischen und lebt noch in den gegenwärtigen Meeren, Atrypa reticularis geht wenig verändert vom obersten Untersilur bis in den Kohlenkalk, viele Foraminiferenarten haben ganze Serien geologischer Zeitabschnitte überdauert.

Wenn trotzdem die von uns stratigraphisch getrennt gehaltenen Zeiten auch in der Ausgestaltung des organischen Lebens deutlich getrennt bleiben, trotz des vorauzgesetzten gleichmässigen Flusses der Entwicklung der Arten ihre Abstände halten, so führen wir dies gleichsam auf Interferenzen der biogenetischen und geologischen Entwicklung zurück, auf das Eingreifen von „Umgebungsreizen“, welche theils

1) Die wenigen als präcambrische beschriebenen Fossilien haben uns nicht viel weiter gebracht. Sie sind einestheils bezüglich ihres Alters Zweifeln unterworfen oder ganz schlecht erhalten, und schliessen sich andererseits ganz an die cambrische Thierwelt an, ohne deren Stämme einander zu nähern.

direct, theils durch Anstachelung der Instincte wirken und in letzter Linie mit den grossen geologischen Veränderungen zusammenhängen. Bei der Verwerthung der Palaeontologie für die Descendenzlehre ging man nicht hiervon aus, sondern richtete das Augenmerk mehr auf die continuirlichen Reihen zeitlich auf einander folgender Arten. Ist auch nicht der ganze Körper erhaltungsfähig, so muss doch auch in den erhaltenen Skeletttheilen der gesuchte Zusammenhang zum Ausdruck kommen. Es liessen sich in der That zahlreiche Beispiele palaeontologischer Reihen aufführen, deren einzelne Glieder sehr eng verbunden sind, und wo die Stärke der Verschiedenheit der Grösse des Zeitabschnittes entspricht, der sie trennt.

Waagen hat sich zuerst, an den etwas weiter gefassten Begriff der Reihe bei Beyrich anknüpfend, mit solchen Zusammenhängen beschäftigt und für diese zeitlich auf einander folgenden Varietäten, durch welche allmählich der Typus einer Art umgestaltet wird, den Ausdruck Mutation eingeführt. Varietäten gruppiren sich um eine Art während einer bestimmten Zeit, sind geologisch gleichzeitig — Mutationen durchragen die Zeit, ersetzen sich oder lösen sich ab und stellen die Verbindung zeitlich getrennter Arten, die kleinen Schritte, welche bei der Artbildung gemacht werden, dar. Waagen's Untersuchungen knüpfen an Ammoniten an, doch lassen sich zahlreiche Beispiele auch aus anderen Klassen anführen. Nach Waagen bilden die durch solche Mutationen zusammengehaltenen Formen nur eine „gute“ Art; nach neueren Untersuchungen reicht der continuirliche Zusammenhang durch Mutationen darüber hinaus, aber auch nicht unbeschränkt.

Die Lückenhaftigkeit unserer palaeontologischen Urkunden mag öfter eine Discontinuität vortäuschen, wo in der Natur keine war, aber wenn wir die Summe unserer gegenwärtigen Erfahrung ziehen, so scheint Vieles darauf hinzuweisen, dass die gleichmässige Abschattirung einer continuirlichen Reihenbildung nicht sehr weit reicht. Eine Verbindung grösserer Gruppen durch die kleinen Phasen der Mutationen gelang noch nie. Und selbst wenn wir von den Mutationen absehen und genetische Zusammenhänge construiren, wo die Arten unverbunden sind, aber doch nach dem Grade der Aehnlichkeit und der zeitlichen Folge an einander gereiht werden können, dehnt sich ein solcher Zusammenhang fast nie über mehr aus, als dem Umfang einer Klasse des zoologischen Systems entspricht.

So kann man nach den vorliegenden Funden annehmen, dass mit Ausnahme der Monotremata alle Säugethiere von Formen ausgehen, welche den Insectivoren nahe standen, dass aus diesen sich primitive Carnivoren oder Creodontia entwickelten und erst von diesen aus die Spaltung in Marsupialia und Placentalia erfolgte. Die peripherisch stehende Gruppe der Edentaten kommt durch die Ganodontia zum An-

schluss, die Phociden können mit Wahrscheinlichkeit von den Creodontia abgeleitet werden, und auch für die Zahnwale erscheint eine derartige Abstammung möglich. In den letzten Fällen muss man allerdings schon recht constructiv vorgehen, da das vorhandene Material sehr lückenhaft ist, aber bei dem nachweisbar engen Zusammenhang anderer Säugethierlinien ist vorauszusetzen, dass diese Lücken mehr zufällige sind und keinen Abbruch der Beziehungen bedeuten können.

Auch in anderen Klassen liess sich der phyletische Zusammenhang, den wir voraussetzen, bestätigen, so bei den eigentlichen Gastropoden, aber weder haben wir bisher fossile Formen nachweisen können, welche einen Zusammenhang der Scaphopoden und Pteropoden mit ihnen illustrirten, noch existiren auch nur andeutungsweise Uebergänge zu den Cephalopoden oder zwischen Zweischalern und Gastropoden. Da diese Gruppen alle in das Cambrium zurückreichen, muss ihre Trennung vom gemeinsamen Stamm der Mollusken in noch früherer Zeit geschehen sein.

Nur sehr selten haben sich Uebergänge von Klasse zu Klasse direct nachweisen lassen; mit Recht betont daher Jaekel die Wichtigkeit einer Form wie Cystoblastus, welche die Abzweigung der Klasse der Blastoidea aus den Cystideen nicht länger bezweifeln lässt. Eine ähnliche Bedeutung hat Archaeopteryx für die Genealogie der Vögel. Sie giebt uns das Bild eines Vogels, wie man es zeichnen müsste, wenn man anerkennt, dass von den embryonalen und jugendlichen Merkmalen und Zuständen der lebenden Vögel ein Theil die ausgewachsenen Vögel der längst entschwundenen Jurazeit charakterisirte, und zeigt dazu eine Reihe reptilischer Merkmale, welche noch vorhanden sein müssen, wenn wir uns der Abzweigung der Vögel aus dem Reptilienstamme nahe befinden.

Nach den Forschungen der letzten Jahrzehnte ist auch ein Zusammenhang der Reptilien mit den Säugethieren einerseits und durch die Stegocephalen zu den Amphibien andererseits annehmbar geworden. Oder wir können auch das Verhältniss so deuten, dass wir den Stegocephalen eine centrale Stelle einräumen und von ihnen über die Reptilien zu den Säugethieren die Verbindung ziehen, und dann wieder zu den Amphibien, deren Jugendzustand mit Kiemenathmung eine Neuerwerbung sein dürfte. Ganz abgesehen davon, dass wir hier schon vielfach subjectiv verfahren und grosse Lücken überspringen, ganz abgesehen davon, dass unter den Reptilien selbst die Zusammenhänge noch durchaus nicht klargestellt sind, und Chelonier, Ichthyosaurier, Pareiasaurier und Dinosaurier sehr scharf geschiedene Gruppen sind, deren Verbindungen erst gefunden sein wollen, sind wir damit vorläufig auch am Ende der Möglichkeit phylogenetischer Construction angekommen.

Eine weite Kluft scheidet die Fische von allen vierfüssigen Wirbelthieren, eine Kluft, die sicher durch die amphibisch lebenden und durch

Lungen athmenden Dipnoer auch nicht annähernd überbrückt wird. Die Dipnoer sind uralte Formen und haben manche wichtige Aehnlichkeit mit den holostomen Fischen, ihre Differenzirung in lungenathmende Thiere hat einen terripetalen Charakter, während die Kiemenathmung der Amphibien eine secundäre Erwerbung ursprünglich lungenathmender Thiere ist.

Irgend eine fossile Form, die als Uebergang vom Vertebratenstamm zu einem anderen Phylum gedeutet werden könnte, ist bisher nicht gefunden, wenn man nicht Traquair's Urocordylus diese Bedeutung beilegen will. Diese Reste sind aber so schattenhaft, dass eine präcise Beurtheilung unmöglich ist.

Scharf getrennt reichen alle grossen Phyla bis in das Cambrium zurück, und aus jenen Zeiten, wo sie noch verbunden gewesen sein könnten, oder wo sie sich aus gemeinsamer Wurzel abzweigten, fehlen die Berichte.

Wollen wir über die Art und Weise des Entwicklungsganges Studien machen, so müssen wir uns auf enger gefasste Gruppen beschränken, wo das Material eine Analyse der Stammesgeschichte erlaubt.

Nach Darwin werden die Varietäten von der natürlichen Züchtung ausgewählt und zu neuen Arten ausgebildet. Da dies nur geschehen kann, wenn die Abänderung sich als überlegen erweist, so soll die Stammart untergehen, während die Extreme sich fortpflanzen.

Die Palaeontologie kennt aber zahlreiche Fälle, wo die Stammart neben den Zweigarten bestehen bleibt, ja schliesslich noch existirt, wenn diese wieder verschwunden sind — und das in einem eng umgrenzten Bezirk, wo die Principien der Isolirung und Wanderung nicht in Frage kommen.

Durch das ganze Untersilur zieht sich, nur wenig verändert, die Form des Raphistoma qualteriatum, der schon von Schlotheim beschriebenen Schnecke. Sie taucht auf in den untersten rothen Orthocerenkalken Oelands und findet sich noch in den obersilurischen Mergeln von Wisby. Eine grosse Menge anderer Arten steht mit diesem Typus in verwandtschaftlicher Verbindung, aber keine der sich abzweigenden Arten hat die phyletische Lebensdauer der Stammesart.

Hier knüpft die von mir als iterative Artbildung bezeichnete Erscheinung an. Eine persistente Art treibt nur von Zeit zu Zeit Varietäten, die gleichsam schwarmartig auftreten, während dazwischen mehr oder weniger lange Ruhephasen liegen. Ich beobachtete dieses zuerst bei älteren Gastropoden, aber auch bei Craniaden, Pectiniden u. s. w. sind Fälle iterativer Artbildung beschrieben.

Die Dauerformen können sich verbreiten und in verschiedenen Meeren ansiedeln und eine Periode der Artbildung durchmachen. Da

die Varietätenbildung nicht unbeschränkt ist, so treten uns dann nicht nur in verschiedenen geologischen Zeiten, sondern auch in verschiedenen Provinzen Gruppen ähnlicher Arten entgegen. Die Worthenien und die Raphistomen des baltischen Untersilurs auf der einen, jene des nordamerikanischen Untersilurs auf der anderen Seite des atlantischen Meeres haben sich unter fast gleichen Bedingungen aus fast oder ganz gleichen Mittelformen entwickelt.

Auch die sogenannten persistenten Typen, unter denen Lingula und Pleurotomaria so oft genannt werden, können in diesem Zusammenhange angeschlossen werden. Es sind nicht durchaus indifferente Formen, die auf keinen Reiz reagiren; eine grosse Anzahl von Arten, die allerdings nur wenig von einander abweichen, setzt z. B. die Lingulareihe zusammen. Bei Pleurotomaria ist die Amplitude des Variirens und der Artbildung schon grösser, und man kann eine Anzahl Genera absondern, aber doch erhält sich der Typus mit grosser Zähigkeit und weicht in gleichsam minimalen Abänderungen den umgestaltenden Factoren aus. Auch hier erfolgt die Varietätenbildung in Intervallen und nicht ohne Beziehung zu geologischen Daten.

Der Kampf ums Dasein und die natürliche Auslese können in den bisher angeführten Fällen nicht stark eingegriffen haben, sondern die Artbildung scheint abhängig von der Constitution und von aussen herantretenden Einflüssen.

Grösseres Interesse als diese in kleinen Rahmen sich vollziehenden Vorgänge rufen gewöhnlich die Fälle intensiver Abänderungen hervor, die besonders im Stamm der höheren Vertebraten beobachtet werden.

Im Allgemeinen sucht man die Ursache einschneidender Umänderungen in der Richtung des Nützlichen. Die Umänderung kann eingeleitet werden einmal durch ein actives Sich-Anpassen, durch Wollen und Gewöhnen, was eine gewisse Herrschaft des Thieres über seinen Körper voraussetzt, oder durch eine passive Anpassung, wobei der Körper des Thieres abhängig von der Umgebung (im weiteren Sinne) wird.

Das erstere gilt besonders dort, wo es sich um ganz allgemeine Functionen, um die Art der Bewegung, wie Fliegen, Schwimmen, Laufen, handelt.

Der zweite Fall ist bei niederen Thieren verbreitet und müsste zu schrankenloser Umbildung des Körpers führen, wenn nicht die dem Stamme eigene Constitution die Führung übernimmt oder doch Grenzen zieht, wie es ja auch im ersten Fall geschieht. Als Resultirende aus Constitution und Anpassung kommt eine Richtung der Entwicklung zu Stande, welche eine Zeit lang constant zu sein pflegt. Hiernach werden in der Palaeontologie Genera gebildet, indem man die Arten zusammenfasst, deren Charaktere auf eine bestimmte Richtung der Entwicklung zurückzuführen sind. Man kann nicht einfach mit Eimer von „organischem Wachsen“ sprechen, sondern es ist ein complicirterer

Vorgang, und die Richtung ist weniger eine Tendenz-, als eine Beharrungserscheinung. Zweifellos vorhanden ist eine Praedisposition für gewisse Fälle des Variirens, und gerade das zeugt auch für den Einfluss der Constitution. Von Arten, die sich in verschiedenen Gegenden verbreitet haben, gehen fast dieselben Varietäten aus; wo der schwäbische Jura am Hermon heraustritt, wiederholen sich im Ornatenthon auch die Spielarten des Ammonites hecticus. Schliesslich liegt ja auch dasselbe Moment der vorhin erwähnten iterativen Artbildung zu Grunde.

Ist aber die Variabilität limitirt, so hat auch die Abhängigkeit der Form von äusseren Einflüssen ihre Grenze und wird auch die Convergenz beschränkt, welche genetisch sehr verschiedene Reihen in Folge der Anpassung an ähnliche oder gleiche Bedingungen einander näher bringt. Von der Convergenz werden besonders äussere Organe betroffen, während z. B. solche, welche, im Innern geborgen, den Beeinflussungen durch Bewegungsart und Medium entzogen sind (wie die merkwürdigen Otolithen der Knochenfische) weniger berührt werden.

Die Convergenz zwischen einem Ichthyosaurus und einem Delphin bleibt eine ganz äusserliche, weil der Bauplan der Thiere zu weit verschieden ist, dagegen führt die Convergenz bei näher verwandten Linien zu Erscheinungen, die schwieriger zu entwirren sind. So sind, wie Jaekel nachwies, aus verschiedenen Linien der Selachier zu sehr verschiedenen Zeiten Rochenformen entstanden, und wenn man die complicirte Phylogenie dieser Gruppe nicht kennt, wird man hier eine systematische Einheit schaffen, die durchaus polyphyletisch genannt werden muss. Es lässt sich nicht verkennen, dass für viele Gruppen des bisher üblichen Systems der Auflösungsprocess, wenn anders wir ein „natürliches" System wollen, vorausgesagt werden kann, sowohl bei niederen Thieren (z. B. Pulmonata, Opisthobranchiata, Rhachiglossa, Taenioglossa, Ptenoglossa etc.), wie bei höheren (z. B. Pharyngognathen, Physostomen).

Dass aber selbst, wie die neuesten palaeontologischen Forschungen ergeben, eine scheinbar so geschlossene Gruppe wie die Feliden diphyletisch ist, muss allerdings auffallen. Sie ist es aber nicht durch Convergenz ganz heterogener Linien. Zwei Zweige des Katzenstammes haben sich schon im Eocän getrennt. Aehnliches gilt auch für die Caniden und Ursiden.

Die ausserordentlich geringe Distanzirung der beiden seit dem Eocän neben einander herlaufenden, in denselben Ländern heimischen Stämme der Feliden giebt aber vor Allem eine Andeutung, wie wenig die natürliche Züchtung eine schon vorhandene Divergenz auszugestalten vermag, wenn die Lebensweise die gleiche bleibt.

Gerade unter Arten, welche nahe verwandt sind, gleiche Anforderungen an das Leben stellen und dieselben Gegenden bewohnen, sollte der Kampf ums Dasein nicht eine vollkommene Parallelentwicklung

sondern eine Differenzirung herauszüchten. Sehr wohl erklärt sich aber der Parallelismus bei gleichen Gewohnheiten der Thiere aus den Principien LAMARCK'S.

Diese ruhige, gleichmässige Fortentwicklung einer typischen Form wird noch bemerkenswerther, wenn wir mit ihr die Umformungen contrastiren lassen, welche auf Aenderungen des Lebens folgen. Hier sind mächtige Impulse, welche ganz Neues zu schaffen streben und um so mehr erreichen, je weiter die Instincte und der Willen des Thieres ihnen entgegen kommen.

Die Ichthyosaurier sind unter den Reptilien die am meisten umgeänderten. Besonders in Hinblick auf das eigenthümliche Gliedmassenskelett hat man sich lange der Auffassung verschlossen, dass man es hier mit abgeleiteten Formen zu thun habe, und vorgezogen, sie an den Anfang der morphologischen Reihe zu stellen. BAUER erkannte in Mixosaurus eine Gattung, welche durch die Bildung von Ulna und Radius noch an den Gliedmaassenbau landbewohnender Wirbelthiere erinnert; Mixosaurus ist die alttriassiche Form, Ichthyosaurus die jüngere. — Damit wäre die Richtung der Anpassung festgelegt. Man hätte das wohl auch aus der Analogie mit anderen Reptilien, welche in Folge des Lebens im Meere Umgestaltung der Gliedmassen erlitten haben, folgern können. Varaniden haben sich in Mosasaurier umgewandelt, und selbst einige meerbewohnende Krokodilier der Jurazeit (Geosaurus, Rhacheosaurus) haben schaufelförmige Vorderextremitäten mit platten breiten Knochen. Bei allen diesen tritt zugleich eine verticale Schwanzflosse auf, ein kräftiger Propeller beim Durchschneiden der Wellen.

Wir können diese und mit ihnen eng verknüpfte Einrichtungen bis zu einem gewissen Grade als Functionen der Lebensweise im Meere auffassen. Man könnte also sagen, etwas Derartiges musste entstehen, wenn die Reptilien anfingen sich schwimmend zu bewegen und ihre Beute fern vom Lande zu suchen.

Wenn wir aber unsere Blicke über die Gruppen der Ichthyosaurier, der Mosasaurier, der Thalattosuchia und der Plesiosaurier, welche ja auch zweifellos von landbewohnenden Reptilien abstammen, schweifen lassen, so müssen wir uns auch sagen, dass in der Ausführung der Anpassung sich Verschiedenheiten einstellen, welche nicht allein auf die Rechnung der verschiedenen Constitution gesetzt werden können. Denn in den ersten Anfängen müssen alle diese Linien von Reptilien eine grosse Aehnlichkeit mit einander gehabt haben. Es sind auch wohl schwerlich soviel verschiedene und doch gleichwerthige Nuancirungen des Nützlichsten neben einander denkbar, dass wir die verschiedene Organisation von Ichthyosaurus, Mosasaurus und Plesiosaurus auf das Wirken der Selection zurückführen können.

Viel näher liegt die Annahme, dass die Thiere von vorne herein auf verschiedene Weise sich fortzubewegen suchten, dass also instinctives

oder gerichtetes Wollen in erster Linie dafür verantwortlich wissen, und die Anpassung bei Ichthyosaurus derart ausfiel, dass ein Hauptheil der Fortbewegung vom Schwanze übernommen wird, während bei Plesiosaurus mehr die Ruder herangezogen und entsprechend ausgestaltet sind.

Die Anpassung ist bei diesen Thieren zu weit getrieben, als das eine morphologische Umkehr möglich war; der Rückzug auf das Land war abgeschnitten. Das prägt sich auch aus in der Viviparität der Ichthyosaurier, einer für Reptilien nicht häufigen Erscheinung. Als die gewaltigen Mosasaurier und die mit furchtbarem Gebiss ausgestatteten Riesenhaie auftauchten (Ende der Kreidezeit), wurden die Ichthyosaurier ausgerottet. Die rückhaltlose Anpassung an einen bestimmten Zweck zeigt sich jetzt als eine Gefahr, weil sie in den Bau des Skelettes derart eingreift, dass einer Anforderung von anderer Seite nicht mehr entsprochen werden konnte. Diese Entwicklungsrichtung lag nicht im Bauplan des Thieres, sie ist ihm aufgedrängt, aber vom Willen des Thieres selbst, welches das Land verliess und das Wasser aufsuchte. Erst dann setzte der Einfluss des Mediums an.

Anpassungen, bei denen die ganze Organisation gleichsam auf ein Ziel der Entwicklung festgelegt wird, können bei einer Verschiebung der Constellationen zum Untergange der Gruppe führen; sie können also auch durchaus nicht einer weiterschauenden, teleologischen Ursache zugeschoben werden.

Ganz auffallend ist in dieser Beziehung der Untergang der Ornithosaurier. Im Flugvermögen und in der Pneumacität der Knochen, deren Foramina beweisen, dass Ausstülpungen der Bronchien sich in sie hineinzogen wie bei lebenden Vögeln, waren sie schon in der Liaszeit auf einer Stufe angelangt, welche die Vögel erst viel später erreichten. Ihr Untergang muss damit zusammenhängen, dass keine Vorkehrung zum Wärmeschutz getroffen war, ein Mangel der Organisation, der besonders fühlbar wurde, als in Jura- und Kreidezeit die Klimate der Erde sich schärfer accentuirten, der aber auch von vorne herein den Flug in die höheren, kalten Regionen der Luft ausschloss.

Eine der lehrreichsten Gruppen ist die der Hufthiere, welche, heute in verschiedene pflanzenfressende Gruppen geschieden, im Eocän mit den Carnivoren noch zusammenhing. Hier könnte man fast an ein vorschwebendes Ideal denken, so consequent nähern sich die Thiere einem Typus, der Schnelligkeit mit Festigkeit vereint und zugleich mit Sparsamkeit gebaut ist. Die Equiden sowohl wie die Paarhufer könnten nach dem Princip des Nutzens gezüchtet sein. Wir werden eine andere Erklärung bevorzugen, weil sie sich auch auf aberrante Formen anwenden lässt, bei denen die Entwicklung in eine ganz neue Richtung einbiegt. Zwei Beispiele von Richtungsänderung in geringerem Betrage stelle ich voran.

Unter den bis in die Einzelheiten des Skelettes bekannten Rhino-

ceroten des nordamerikanischen Miocäns ist Teleoceras fossiger eine merkwürdige Form, im Habitus einem Nilpferd ähnlich. Der von colossalen Rippen umgürtete, tonnenförmige Leib muss fast die Erde gestreift haben und steht in Missverhältniss zu den zwar stämmigen, aber kurzen Beinen. An den Füssen verrathen die 5 gespreizten Zehen und die Art des Muskelansatzes das Leben im Wasser. Der Umänderung der Lebensweise ist der Bau des Skelettes nachgefolgt.

Das Gegenstück liefert Hyracodon, den ungehörnten Aceratherien verwandt. Hier geht der Habitus der Rhinoceroten in den der Pferde über. Am Vorderfuss sind Humerus und Radius, die Carpalien und Metacarpalien, am Hinterfuss entsprechend Tibia, Metatarsalia und selbst die Phalangen verlängert oder höher. Der Rumpf mit kurzen schmalen Rippen entspricht den schlanken Beinen, an denen nur die mittleren 3 Zehen den Boden berührt haben. Hier ist ein offenbar schnellfüssiges Thier mit Eigenthümlichkeiten, welche auch in der Osteologie des Pferdestammes sich zeigen — ein Bewohner der Prärie oder der offenen Landschaft. In allen Eigenschaften, welche dem directen Einfluss der Umgebung mehr entzogen sind, verrathen sich aber die Eigenthümlichkeiten des Rhinocerotenstammes.

Von den Ungulaten zweigen sich nun einige recht weit verbreitete Familien ab, welche ihre Lebensweise vollkommen geändert haben müssen, und in denen ganz neue, in gewissem Sinne sogar rückläufige Richtungen zum Ausdruck kommen. Vom Schädel bis zum Carpus und Tarsus herrscht der Bau des Ungulaten-Typus, die Endphalangen aber sind scharfe Klauen. So lange man nur jene Theile in fossilen Resten kannte, rechnete man die Thiere zu den Ungulaten, als man die Zehen kennen lernte, wollte man sie den Edentaten angliedern oder in ihnen die Uebergänge zwischen Ungulaten und Edentaten sehen.

Nach dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse über diese Thiere sind es Ungulaten, die sich schon sehr früh vom Hauptstamme getrennt haben, anscheinend von Formen ausgehend, die wie Meniscotherium noch den alterthümlichen Condylarthra angehören. Eine Rückbildung der Hufe zu Klauen[1]) konnte damals noch leichter geschehen, da die Differenz noch nicht so weit wie in den jüngeren Zeiten des Tertiärs gediehen war. Immerhin bedurfte es einer ganz energischen Aenderung aller Gewohnheiten, um dieses zu ermöglichen. Die Erfahrung lehrt, dass die verlassene Entwicklungsrichtung die bessere war; die Ancylopoda sind sämmtlich ausgestorben. Nicht eine Verbesserung des Typus ist hier aus dem Ungulatenstamme herausgezüchtet, sondern Wille und Gewöhnung haben einen Erfolg herbeigeführt, der den Instinct des Thieres befriedigte, die dauernde Existenz der Arten aber gefährdete.

1) Bei Chalicotherium wurden die proximalen Phalangen zurückgezogen, nicht die distalen. Artionyx scheint keine retractilen Klauen zu haben.

Die Entwicklung der Ancylopoda ist noch in anderer Beziehung auffallend. Als sie sich vom Hufthierstamme abzweigten, waren diese noch nicht in Paarzeher und Unpaarzeher geschieden; dennoch bilden sich ganz parallele Gruppen auch bei den Ancylopoda. Die alten Chalicotheriiden sind Unpaarzeher; die statische Axe läuft durch die 3. Zehe, und der Tarsus ist ganz wie bei den Perissodaktylen gebaut. Bei Artionyx sehen wir 4 Zehen, die Axe läuft zwischen Zehe 3 und 4 hindurch, der Tarsus ist der eines echten Artiodaktylen. So kommen die Entwicklungsrichtungen, die zu den Pferden und Ruminantiern hinleiten, auch in dieser ganz aberranten Gruppe zum Durchbruch, ja man kann sagen, dass die Berechtigung, eine Ordnung Ancylopoda aufzustellen, nur durch den Bau der Phalangen motivirt wird: If the foot of Artionyx had the metatarsals cut off halfway down, no one would hesitate to call it truly artiodactyl (Osborn).

Nur noch ein Beispiel für die Beziehungen zwischen Lebensänderungen und Skelettbau will ich heranziehen.

Nach Dollo stammen die Beutelthiere von Vorfahren, die auf den Bäumen lebten. Der opponirbare erste Finger, die Verkleinerung des 2. und 3. Fingers, das Ueberwiegen des 4. Fingers gegenüber jenen und häufige Syndaktylie von Finger 2 und 3 deuten darauf hin. Mit diesen ererbten Eigenschaften mussten alle durch spätere Lebensänderungen erforderten Modificationen des Fusses sich abfinden.

Bei Diprotodon australis, einer riesenhaften ausgestorbenen Art, die an die grossen Pachydermen erinnert, ist das in ganz eigenartiger Weise geschehen. Die Schwächung jener Finger, welche sonst die Körperlast tragen helfen, konnte nicht wieder ausgeglichen werden, und sie verkümmerten noch mehr; vom ersten Finger blieb nur das Metatarsale über. Rückwärts liegende Elemente des Skeletts mussten die Last übernehmen, und entsprechend schwollen Astragalus, Calcaneus, Tarsalia und Metatarsalia zu unförmlicher Grösse an. Der Ausfall wird gedeckt, aber der Fuss ist gleichsam verstümmelt. Als Endziel der neuen Richtung ist nur Adaktylie, Zehenlosigkeit, denkbar.

Die Correlation mit der Lebensweise ist unverkennbar, besonders interessant aber, wie hier ganz ungeeignetes Material verbaut wird, um den neuen mechanischen Beanspruchungen nachzukommen. Weder Selection noch Orthogenesis sind ausreichend zur Erklärung. Die Anpassung ist gar nicht denkbar ohne Eingreifen des thierischen Willens, der seinerseits wieder durch Umgebungsreize gerichtet sein kann.

Wir kommen nun zu der Frage, ob auch gleichgültige oder selbst schädliche Eigenschaften durch längere Reihen vererbt und gesteigert werden. Schädlich soll hier nicht heissen, dass sie die individuelle Existenz bedrohen, die ja immer in einem gewissen Sinne mit der Umgebung sich in Einklang setzt, sondern dass sie die Aufnahme des Concurrenzkampfes erschweren.

Einige Linien der Hufthiere sind schon im Tertiär ausgestorben, und Kowalewsky hat in einer werthvollen Abhandlung dies auf sog. „inadaptive Selection" zurückgeführt. Bei diesen Formen wird auch der Oekonomie des Körpers durch Reduction überflüssiger Zehen entsprochen, aber die Reduction vollzieht sich in anderer Weise als bei den noch heute lebenden Hirschen und Rindern. Carpus und Tarsus sind mechanisch nicht gut verfestigt. Es sind also Eigenschaften gezüchtet, welche gegenüber den concurrirenden Nachbarlinien inferior genannt werden müssen.

Die „inadaptiv" gezüchteten Hufthiere sind allerdings ausgestorben, aber sie haben doch längere Zeit hindurch sich entwickelt und jene Eigenschaften verstärkt.

Wir verstehen die Fälle, in denen Eigenschaften weiter entwickelt werden, welche geringerer Qualität sind als die homologen Merkmale gleichzeitiger Concurrenten, vielleicht eher, wenn wir uns vorher in die Erinnerung zurückrufen, wie oft Eigenschaften zunehmen und abschwellen, bei denen eine Verknüpfung mit dem Nutzen anscheinend nicht ins Spiel kommt.

Die wunderbare Formenfülle der Radiolarienskelette, die Mannigfaltigkeit der Schwammskelette, insbesondere der Oberflächennadeln, die Gattungen der palaeozoischen Tabulaten-Korallen verdienten wohl in diesem Sinne eine ausführliche Besprechung.

Nach Darwin's Princip können physiologisch indifferente oder nutzlose Merkmale nicht erhalten bleiben, nach dem Sparsamkeitsprincip müssten sie verkümmern.

Was bedeutet aber der auffallend grosse Sacculus-Otolith für das Gehörorgan des in Holothurien eng eingeschlossenen, schmarotzenden Bandfisches, welche Function wiederum soll er noch ausüben bei den in lautlosen abyssischen Tiefen lebenden Macruriden?

Eine fast continuirliche Reihe führt von den nucleaten Terebratuln hinüber zu der auffallenden Pygope mit Durchbohrung beider Schalen; eine ganz analoge Abstufung verbindet Clypeaster mit Scutella und Amphiope. Eigenschaften steigern sich hier, als würden sie in einer Richtung gezüchtet, aber soll man glauben, dass der Kampf ums Dasein, die natürliche Züchtung die Leitung übernommen hat? — Hier versagen auch die auxiliären Principien und die Lamarck'sche Anpassungslehre. Die Metamorphose der Schalen des Skeletts vollzieht sich in einer Unabhängigkeit, die in der That an „organisches Wachsen" infolge irgend eines Reizes mahnt, und sie bleibt beharrlich in einer Richtung, bis sie mit einem anderen Princip interferirt oder in Collision kommt. Hier kann man auch an die Geweihbildungen der Hirsche erinnern, welche bei Polycladus und Euryceros als entschieden hypertroph bezeichnet werden müssen und nicht selectiv nach dem Nutzen herausgezüchtet sein können.

Ich verweise ferner auf die colossale, den Körper überlastende Entwicklung des Hautpanzers bei Stegosauriern. Die auf dem Schwanze inserirten Stachelplatten mögen als Waffen noch einen Nutzen gehabt haben, obwohl gleichzeitige Dinosaurier mit besseren Waffen ausgerüstet sind, aber die Riesenplatten über der Mittellinie des Körpers sind Wucherungen und Ballast für den oft so sparsamen thierischen Körper. Diese Reihen der gewaltig grossen Dinosaurier, deren Bewegung auf dem festen Lande enormen Kraftaufwand bedingt und viel mehr Kraft verbraucht, als die Bewegung der zum Theil ja noch grösseren Cetaceen im Wasser, diese Dinosaurier, deren Gehirn dazu so klein war, dass es durch den Rückenmarkskanal gezogen werden konnte, sind dem Untergange verfallen. Der Kampf ums Dasein, oder richtiger, die allgemeine Concurrenz mag ihre Tage verkürzt haben, aber gezählt waren sie ohnedies, sobald die gefährliche Richtung ihrer Entwicklung eine ungehemmte wurde. Kein Kampf ums Dasein hat diese Entwicklung gehemmt, die mit Scelidosaurus im Lias beginnt und sich bis in die Kreide fortzieht.

Wir wollen hier Halt machen, obwohl noch Vieles hervorzuheben wäre, insbesondere die Bedeutung des biogenetischen Gesetzes in der Palaeontologie und die bei niederen Thieren vorliegende Möglichkeit, einen vorübergehenden Zustand der Ontogenie festzuhalten und zum Ausgangspunkt für eine neue Entwicklungsrichtung zu machen. Auch dass die Artbildung in den verschiedenen Phylen mit verschiedenen Mitteln arbeitet, dass durch die höhere Ausbildung der Instincte und des Wollens bei höheren Thieren sich ihr mehr Handhaben bieten, verdiente eine vollere Besprechung.

Das Darwin'sche Princip der Selection ist nicht das einzige, das in Betracht kommt, und scheint nicht das wichtigste zu sein. Oft vermissen wir in der palaeontologischen Geschichte den Hinweis auf das Eingreifen des Kampfes ums Dasein, und andererseits heben sich Richtungen der Entwicklung heraus, welche nicht in Beziehung zum Nutzen stehen, in einigen Fällen zu einer Schädigung der socialen Bedingungen führen.

Aus dem biogenetischen Gesetz liest man heraus, dass die Ontogenie im Allgemeinen die Stammesgeschichte recapitulirt. Die Stammesgeschichte aber lehrt uns, dass auch sie nicht planlos verläuft, sondern durch das Ausgangsmaterial gerichtet ist, ähnlich wie die Ontogenie durch das Plasma der Eizelle.

Aehnlich nur, denn es ist nicht ein festes Ziel, dem die Art durch die Entwicklung entgegentreibt, sondern ein reicher Complex von Möglichkeiten. Das ist für uns die Bedeutung der Constitution. Verschieden wirken die Umgebungsreize, Anpassung, Ernährung, Sleection auf die Arten ein; sie können die Richtung der Entwicklung ändern und hemmen, sie können die Entwicklungsbahnen von Arten, die getrennten Stammes

sind, einander bis fast zur Berührung nähern, aber eine Verschmelzung wird durch die Constitution gehindert werden.

Dass es Perioden giebt, in denen die Artbildung rascher arbeitet, scheint aus der Gruppirung des palaeontologischen Materials hervorzugehen, obwohl gewisse Fehlerquellen (Lücken des geologischen Berichtes, Transgression der Faunen) dem abwägenden Urtheil nicht entgehen können. Die hervorgehobenen Erscheinungen — dass grosse Gruppen sich ohne längere Vorbereitung einstellen, dass continuirliche Reihen relativ kurz sind, dass manche Gattungen und Familien (Fusulina, Nummulites z. B.) eine kurze, auffällige Blüthezeit erleben — reihen sich alle unter jenem Gesichtspunkt ein, und es kann nur eine äussere Ursache sein, welche dies veranlasste.

Wann es uns gelingen wird — und ob jemals —, einen tieferen Einblick zu gewinnen, ob jemals diese so weit zurückliegenden Vorgänge sich uns entschleiern, ist mehr als unsicher. Es ist aber auch ganz ungewiss, ob es gerade die imposanten Ereignisse, wie die Gebirgsbildungen und die periodisch gesteigerte Aeusserung vulkanischer Thätigkeit sind, die hier in Betracht kommen, oder mehr die Umänderungen der continentalen Umrisse und des Klimas —, aber etwas Reales scheint zu Grunde zu liegen.

An Versuchen, solchen geologischen Vorgängen nachzuspüren, welche in den Entwicklungsgang der Organismen stärker eingegriffen haben, und bestimmte Beispiele für solche Wechselbeziehungen herauszufinden, hat es nicht gefehlt, doch kann man nicht sagen, dass sie von besonderem Erfolg begleitet gewesen sind. Zum Theil waren die Unterlagen zu schwach, zum Theil handelt es sich auch nur um ebenso kühne als naive Gedanken, die mehr auf das Wohlwollen eines phantasieliebenden Publicums, als auf eine thatsächliche Förderung unserer Erkenntniss berechnet waren.

Selbst die in ihren Folgen für unsere Länder so wichtige diluviale Eiszeit hat die Entwicklung der Organismen in keine neuen Bahnen gelenkt; wir beobachten nur eine tiefgreifende Beunruhigung der Organismen, ein rastloses Wandern, wobei viele Existenzen zerstört und neue Gruppirungen angeregt wurden. Von hoher Tragweite ist die Eiszeit allerdings für die Entwicklung der menschlichen Cultur geworden.

Eine wichtige Beziehung besteht vielleicht zwischen dem Auftreten und Aufblühen der Hufthiere und den Veränderungen, welche ihre nordamerikanische Heimath während des Tertiärs betrafen. Die Einengung der grossen Seen, die Ausbildung weiter, mit harten Gräsern bestandener Weideflächen schuf Bedingungen, denen sowohl das Extremitätenskelett wie auch die Bezahnung jener Thiere angepasst erscheinen. Es wäre verfrüht, ein Abhängigkeitsverhältniss vorauszusetzen, aber auch das Nebeneinander der Vorgänge ist bedeutungs-

voll genug und kann uns ermuthigen, dem Zusammenhange weiter nachzuspüren.

Die Bedeutung des geologischen Vorganges liegt darin, dass neue Lebensgebiete, neue Möglichkeiten, zu leben, erschlossen wurden, während die Aufrichtung alpiner Gebirge oder die Vereisung weiter Flächen Beides einschränkt. Jenes regt die Instincte und den Willen der Thiere an und zieht Gewöhnung und damit die Anpassung nach sich, dieses führt zunächst zu einem brutalen Kampf um die Existenz, der für die morphologische Ausbildung viel weniger befruchtend wirkt.

4.

Ueber den derzeitigen Stand der Descendenzlehre in der Zoologie.

Von

Heinrich Ernst Ziegler-Jena.

Bald sind 40 Jahre verflossen, seit auf einer deutschen Naturforscherversammlung zum ersten Mal von der Descendenztheorie die Rede war, als ERNST HAECKEL zu Stettin die damals neue Lehre DARWIN's darlegte, in welcher er einen der „gewaltigsten naturwissenschaftlichen Fortschritte unserer Zeit" erkannte.

Es sind gerade 30 Jahre her, seit DARWIN sein unsterbliches Werk über die Abstammung des Menschen veröffentlichte, durch welches er dem Gebäude seiner Lehre den wichtigsten Schlussstein einfügte.

Nach solcher Zeit kann man wohl über den Werth einer Theorie urtheilen, besonders wenn auf den betreffenden Gebieten eine so emsige Arbeit herrschte und die empirische Forschung so grosse Fortschritte machte, wie es auf den Gebieten der Zoologie und Botanik sowohl hinsichtlich der Systematik, wie hinsichtlich der Morphologie und Histologie in dieser Periode der Fall war. Gerade die Descendenzlehre hat ja für viele Untersuchungen die Anregung gegeben und die Frage gestellt. Selbst wenn diese Lehre heute allgemein verlassen wäre, würde sie doch als heuristische Hypothese in der Geschichte der Wissenschaft einen Ehrenplatz einnehmen.

Das Kriterium der Wahrheit in den Naturwissenschaften ist die Bestätigung. In vier Jahrzehnten muss eine Theorie entweder sich bestätigen, oder sie muss fallen. Die Descendenzlehre ist aber keineswegs gefallen, sie ist durch viele gründliche Forschungen bestätigt worden und folglich in der Wissenschaft zu nahezu allgemeiner Anerkennung gelangt.

Freilich geht diese Anerkennung nicht weit über die fachwissenschaftlichen Kreise hinaus; aber dies ist hier ohne Bedeutung. Glücklicherweise ist es in der Wissenschaft nicht wie im politischen Leben, wo man die Stimmen zählt, ohne sie zu wägen, und von der grossen Masse die höchste Entscheidung erwartet. Ob die Descendenztheorie im Allgemeinen viele oder wenige Anhänger besitzt, das ist für die wissenschaftliche Werthung derselben ganz gleichgültig, es kommt nur darauf an, wie diese Lehre in der Wissenschaft selbst beurtheilt wird.

Wenn ich meine Aufgabe richtig erfasse, so habe ich Ihnen darzulegen, worin gerade die besten und gründlichsten Forscher übereinstimmen, und in welchen Punkten die Ansichten auseinandergehen. Dabei wird sich auch Gelegenheit bieten, gewisse allgemein gehaltene Angriffe gegen die Descendenztheorie zu berühren, welche in der letzten Zeit einiges Aufsehen gemacht haben, und welche in den der Naturwissenschaft ferner stehenden Kreisen mit mehr Freude begrüsst worden sind, als ihrer wissenschaftlichen Bedeutung entspricht.

Wir müssen nun die Aufgabe in Abtheilungen zerlegen, indem wir unterscheiden: erstens die Descendenztheorie oder Entwicklungslehre, zweitens die Selectionstheorie oder Zuchtwahllehre, und drittens die Vererbungstheorien. Daraus ergeben sich drei Theile der Darlegung, und dann kommt ein vierter Theil hinzu, indem wir die Frage berühren, ob die Descendenztheorie auch auf den Menschen Anwendung finden muss.

Die Descendenztheorie oder Abstammungslehre beschränkt sich auf die Behauptung, dass die höheren Organismen aus niederen entstanden sind, dass also die uns vorliegende Thier- und Pflanzenwelt das Ergebniss einer durch Millionen von Jahren gehenden Stammesentwicklung ist. Dieser Gedanke der Descendenz ist schon lange vor DARWIN von einzelnen Denkern ausgesprochen worden, so von dem geistreichen LAMARCK, jetzt gerade vor 100 Jahren.

Die DARWIN'sche Lehre aber, die Selectionstheorie, behauptet, dass die Entwicklung der Thiere und Pflanzen unter der Wirkung des Kampfes ums Dasein und der daraus folgenden natürlichen Zuchtwahl stattgefunden habe sowie unter dem Einflusse der geschlechtlichen Zuchtwahl.

Die Vererbungtheorien schliesslich versuchen für die Vererbung und für die Entstehung von Variationen eine speciellere Erklärung zu geben.

Nun kann ich das Endergebniss meiner Darlegung vorweg nehmen und dasselbe dahin aussprechen, dass die Descendenzlehre in wissenschaftlichen Kreisen nicht bestritten wird, und dass die bestehenden Meinungsverschiedenheiten sich nur auf die genauere Erklärung der Artumwandlung beziehen; oder wie WEISMANN [1]) sagt: „Entwicklung hat für die Wissenschaft den Werth der Thatsache, nur über die Zurückführung derselben auf ihre natürlichen Ursachen streiten wir noch.“

Die mannigfachen Kämpfe, welche um die Tragweite der Selection und über die Vererbungslehre geführt wurden, haben nur zu einer kritischeren Fassung der betreffenden Probleme geführt und haben die Descendenztheorie selbst nicht erschüttert; aber die Angriffe, welche gegen diese einzelnen Erklärungsprincipien der Descendenzlehre gerichtet wurden, sind in dem grossen Publicum, welches die Descendenztheorie gern widerlegt sehen möchte, oft als Widerlegungen der ganzen Descendenzlehre aufgefasst worden, insbesondere da einzelne Schriftsteller die Angriffe und Einwände zusammengetragen haben, um daraus den angeblichen Zusammenbruch der Descendenztheorie abzuleiten, dieselbe so zu sagen für bankerott zu erklären. [2]) Jedoch in der Wissenschaft selbst wogt der Streit nicht um die Descendenzlehre, sondern um die Selectionslehre und um die Vererbungstheorien. Alle die Forscher, welche an diesen Kämpfen betheiligt sind, stehen ja auf dem Boden der Descendenztheorie; und sie müssen auf diesem Boden stehen, weil es keine andere natürliche Erklärungsweise der organischen Welt giebt. Von einem Bankerott dieser Lehre kann also nicht die Rede sein, höchstens von einer vorübergehenden Cursschwankung.

---

1) A. WEISMANN, Neue Gedanken zur Vererbungsfrage. Jena 1895, S. 71. — In ähnlicher Weise schrieb HUXLEY: „If the Darwinian hypothesis was swept away, evolution would still stand where it was.“

2) So spricht z. B. FLEISCHMANN von einem „Zusammenbruch aller descendenztheoretischen Beweisversuche“ und meint, „dass es Zeit ist, die Descendenzhypothese ad acta zu legen“. (A. FLEISCHMANN, Die Descendenztheorie, Gemeinverständliche Vorlesungen über den Auf- und Niedergang einer naturwissenschaftlichen Hypothese. Leipzig 1901). — PLATE äussert über das FLEISCHMANN'sche Buch folgendes Urtheil, mit welchem ich vollständig einverstanden bin: „Ich glaube nicht, dass dieses Buch auf die Fachleute irgend welchen Eindruck machen wird. Dies ist ausgeschlossen, weil der Verfasser seinen Stoff mit der grössten Einseitigkeit behandelt, und weil er den Standpunkt krassesten Skepticismus vertritt, der jede theoretische Speculation als inexact verwirft und nur das als Element der Wissenschaft gelten lassen will, was durch einen „Augenzeugen“ beglaubigt ist.“ (S. PLATE, Ein moderner Gegner der Descendenzlehre. Eine kritische Besprechung. Biolog. Centralblatt. 21. Bd., 1901, S. 134—172).

Die natürliche Erklärungsweise des Thier- und Pflanzenreichs ist in den letzten Jahren nur von Seiten des reinen Skepticismus bekämpft worden, welcher mit Freude auf die Erkenntniss verzichtet, oder von Seiten des Wunderglaubens, welcher sich durch die Wissenschaft eingeengt sieht, und welcher auf allen Gebieten immer bereit ist, den Werth des Wissens zu bezweifeln.

Wäre die Descendenztheorie nicht mit gewissen Ueberlieferungen im Widerspruch, so würde sie in unserer Zeit als etwas Naheliegendes, fast Selbstverständliches erscheinen. Denn auf allen Gebieten des Geisteslebens hat die historische Auffassung die unbestrittene Herrschaft; man ist in allen Wissenszweigen gewohnt, die vorliegenden Verhältnisse aus ihrer allmählichen Entstehung zu erklären, so dass es keineswegs befremden kann, wenn auch die Thierwelt und Pflanzenwelt als das Ergebniss einer Entwicklung betrachtet wird. Freilich fällt diese Entwicklung nicht in die historische Zeit, sie ist prähistorisch und paläontologisch, aber wir haben ja aus jener Zeit die paläontologischen Funde, aus welchen man die früheren Stufen der Entwicklung erkennt, in derselben Weise und mit derselben Sicherheit, wie der Archäologe die Existenz prähistorischer Culturperioden aus vereinzelten Inschriften und Funden erschliesst. Die ganze Versteinerungskunde, welche uns den Wechsel der Floren und Faunen zeigt, bildet einen fortlaufenden Beweis für die Wahrheit der Descendenzlehre.

Es bestehen aber auch sonst Beweise genug, nicht nur auf dem Gebiete der Paläontologie, wie der Herr Vorredner eingehend dargelegt hat, sondern auch in der systematischen Zoologie, in der vergleichenden Anatomie und in der Entwicklungsgeschichte. Ich kann hier nur das Wichtigste erwähnen.

In der Systematik hat sich gezeigt, dass in manchen Klassen und Ordnungen ein grosser Reichthum an Arten besteht, während in anderen nur eine mässige Zahl von Arten oder nur wenige Arten vorkommen. Vom Standpunkt der Descendenzlehre erklärt sich dies leicht, da manche Zweige des Stammbaums in der Jetztzeit in voller Ausbreitung stehen, andere aber nur mit ihren obersten Spitzen in die Jetztzeit hineinreichen.

So kennt man z. B. unter den Fischen aus der phyletisch jüngsten Ordnung, den Knochenfischen, mehr als 10000 Arten, aus der älteren Ordnung der Ganoiden kaum 50 Arten, aus der ebenfalls alten Ordnung der Selachier kaum 300 Arten, während es von dem noch viel alterthümlicheren Amphioxus nur 10 nahverwandte Arten giebt. — Bei dem Aste der Sauropsiden findet man in der Jetztzeit überaus artenreich den phyletisch jüngsten Zweig, die Vögel, ziemlich artenreich die etwas älteren Zweige, die Eidechsen und die Schlangen, aber in geringerer

Artenzahl die Krokodile, welche gewissermaassen nur als Ueberbleibsel aus der Blüthezeit der Saurier uns erhalten sind; schliesslich haben wir nur eine einzige Art, die merkwürdige Hatteria, als Ueberrest der alten Ordnung der Rhynchocephalen. — Oder betrachten Sie dann innerhalb der Klasse der Vögel auf der einen Seite die Ordnung der Singvögel mit ihrer fast endlosen Mannigfaltigkeit der Arten, auf der anderen Seite die Ordnung der Laufvögel mit den wenigen Gattungen von Straussen und den vier ganz isolirt stehenden Apteryx-Arten. Die Ordnung der Singvögel hat sich in geologisch junger Zeit so üppig entwickelt, aber die jetzt noch vorhandenen Laufvögel sind die letzten Reste mehrerer grösserer Familien von Laufvögeln älterer Zeiten.

Ein anderes Beispiel ähnlicher Art bilden unter den Säugethieren die Zahnlücker (Edentata), bei welchen fast jede Gattung (Schuppenthier, Ameisenbär, Erdferkel, Gürtelthier, Faulthier) den Rest einer ausgestorbenen Linie des Säugethierstammes darstellt. In solchen Fällen zeigt uns die Systematik eine sehr scharfe Abgrenzung der Gattungen, weil eben die vermittelnden Uebergangsformen schon alle ausgestorben sind.

Die im System vereinzelt stehenden Thierformen sind oft für die Descendenzlehre von besonderer Bedeutung. Denn eine solche Form vereinigt meist Merkmale zweier getrennten Klassen oder Ordnungen, weil sie von den gemeinsamen Vorfahren derselben abstammt. So vermittelt z. B. der merkwürdige Peripatus den Uebergang zwischen den Anneliden und den Tracheaten, die Amphineuren zwischen den Würmern und den Mollusken, die Gymnophionen zwischen den Amphibien und den Reptilien, die Monotremen zwischen den Reptilien und den Säugethieren.[1])

Ferner hat die Systematik ergeben, dass es bei den meisten Arten Localformen giebt, welche je nach der Grösse der Unterschiede als Varietäten oder als getrennte Arten beschrieben werden. So hat z. B. jedes Gebirge eine besondere Form des Steinbocks. Beim Löwen unterscheidet BREHM drei Localformen in Afrika, zwei in Asien. Es liessen sich für das Vorkommen von Localformen zahlreiche Beispiele aus allen Klassen des Thierreichs anführen. Wollte also Jemand noch in dem LINNÉ'schen Sinne annehmen, dass es „soviele Arten gibt, als am Anfang erschaffen wurden“, so müsste man diesen Satz dahin erweitern, dass auch alle die unzähligen Localformen erschaffen wären, für jede Gegend eine besondere. Will man aber diese Localformen in Folge

1) Ebenso die Lucernariden zwischen den Scyphopolypen und den Scyphomedusen, ferner Archigetes und Caryophyllaeus zwischen den Saugwürmern und den Bandwürmern, Dinophilus zwischen den niederen Würmern und den Anneliden, Nebalia zwischen den Phyllopoden und den höheren Krebsen u. s. w.

localer Einflüsse aus ursprünglich einheitlichen Arten entstanden denken, so ist damit schon ein Theil der Descendenzlehre zugegeben.

Die Localformen erschweren die Arbeit des Systematikers in hohem Grade, insbesondere, weil durch dieselben manche Merkmale der Species schwankend werden oder die Unterschiede getrennter Arten vermittelt oder verwischt werden. Wenn es in einer Gattung viele Localformen giebt, so sieht sich der Systematiker gezwungen, entweder alle die Localvarietäten als einzelne, wenig unterschiedene Arten zu beschreiben, oder aber innerhalb einer Art einen gewissen Spielraum, eine Veränderlichkeit der Merkmale zuzulassen. In Folge dessen wird oft eine Gattung von dem einen Forscher in sehr viele, von einem anderen in nur wenige Arten eingetheilt.

Kurz die ganze Systematik beweist, dass die Eintheilung in Klassen, Familien, Gattungen und Arten nur ein Werkzeug unseres Verstandes ist, um die Mannigfaltigkeit der Formen zu erfassen, und dass scharfe Trennungen dieser Gruppen nur dann sich zeigen, wenn die Zwischenformen ausgestorben sind. Wenn in einer Abtheilung des Thierreichs alle Thiere, welche es je gab, bekannt wären, so würde man ihre Beziehungen nicht durch ein scharf gegliedertes System, sondern nur durch Zusammenstellung von Formenreihen zum Ausdruck bringen können, und diese Formenreihen würden Verzweigungen zeigen und sich nach Art eines Stammbaums zusammenfügen. [1])

Auch noch nach anderer Richtung hin hat die Systematik eine Stütze für die Descendenztheorie ergeben. Die genaue Untersuchung einzelner Arten hat gezeigt, dass jedes Merkmal innerhalb gewisser Grenzen schwankend ist, und dass man die Variationen bei zählbaren oder messbaren Gebilden nach Umfang und Menge zahlenmässig bestimmen kann.

Sie sehen z. B. in dieser Figur (Fig. 1 S. 234) die von HEINCKE genau beobachteten Variationen der Wirbelzahl der Heringe eines einzigen Fundortes.[2]) Die Abscisse enthält die Wirbelzahlen, welche von 53—58 schwanken, die Ordinaten bedeuten die Procentzahlen der Individuen, welche die betreffende Wirbelzahl aufwiesen. Die meisten Individuen

1) Zahlreiche Forscher haben für einzelne Abtheilungen des Thierreichs den Stammbaum zu reconstruiren versucht. Solche Stammbäume sind zwar immer hypothetisch, dürfen aber keineswegs als ein zweckloses Spiel der Phantasie angesehen werden, da sie ja auf ganz bestimmte Thatsachen der Paläontologie, der Systematik, der Embryologie oder der vergleichenden Anatomie gegründet sind. — Die Stammentwicklung des ganzen Thierreichs auf Grund aller Kenntnisse zusammenfassend darzustellen, das ist eine grossartige und schwierige Aufgabe, welche HAECKEL in seiner Systematischen Phylogenie (3 Bände, Berlin 1895) zu lösen unternommen hat.

2) FR. HEINCKE, Naturgeschichte des Herings. Abhandl. des Deutschen Seefischerei-Vereins, Berlin 1898.

zeigten also die Wirbelzahlen 55 und 56, nur wenige Individuen hatten höhere oder niedrigere Wirbelzahlen.

Bei allen Thieren kann man an den meisten Merkmalen eine ähnliche Variabilität feststellen, wie sie in der Figur durch die punktirte Curve angegeben ist.[1]) Dies ist wichtig für die Lehre von der Selection oder natürlichen Zuchtwahl; denn wenn z. B. durch Selection diejenigen Individuen eliminirt werden, welche dem schraffirt gezeichneten Theil entsprechen, so wird sich die ganze Curve in der nächsten Generation mehr nach rechts entwickeln; oder wenn nur diese dem schraffirt gezeichneten Theil entsprechenden Individuen erhalten bleiben, wird sich die ganze Curve nach links verschieben.

Verlassen wir nun die Systematik und werfen noch einen kurzen Blick auf die vergleichende Anatomie und auf die Entwicklungsge-

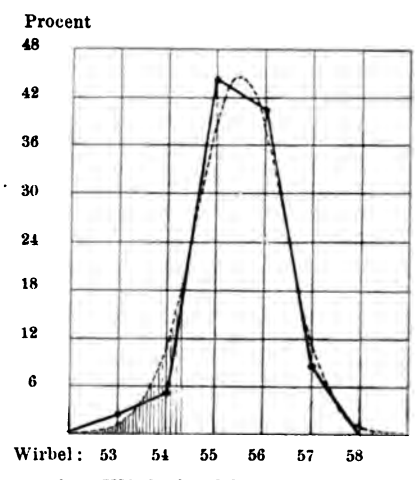


Fig. 1. Variationen der Wirbelzahl bei 239 Frühjahrsheringen aus der Schley (westliche Ostsee). Die dicke schwarze Linie verbindet die Endpunkte der Ordinaten, welche für die einzelnen Wirbelzahlen die Procentzahlen des Vorkommens bedeuten (nach HEINCKE).

schichte, um zu sehen, in welcher Weise sich hier Bestätigungen der Descendenztheorie ergeben haben.

1) Stets sind die mittleren Werthe am häufigsten, die höheren und die niederen Werthe seltener. Dasselbe gilt auch für die messbaren und die nicht messbaren Eigenschaften des Menschen (FRANCIS GALTON, Hereditary Genius. London 1869. — OTTO AMMON, Der Abänderungsspielraum. Ein Beitrag zur Theorie der natürlichen Auslese. Naturwiss. Wochenschrift. 1896, Nr. 12, 13 und 14. — GEORG DUNCKER, Wesen und Ergebnisse der variationsstatistischen Methode in der Zoologie. Verhandl. der Deutschen Zoolog. Gesellschaft. 1899, S. 209—226).

Die vergleichende Anatomie lehrt, dass innerhalb eines Typus stets dieselben Organe in mannigfacher Form wiederkehren. Z. B. besitzt die vordere Extremität der Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugethiere immer dieselben Armknochen und Handwurzelknochen, obgleich sie in der mannigfaltigsten Weise bald zum Laufen, bald zum Schwimmen, Fliegen oder Greifen angepasst ist; so kann man schon allein aus der Vergleichung des Arm- und Handskeletts erkennen, dass alle die genannten Wirbelthiere einen gemeinsamen Ursprung haben und von einer fünfzehigen Urform abstammen. — Indem die vergleichende Anatomie die Homologien feststellt, also bei verwandten Thieren die sich entsprechenden Theile aufsucht, ergeben sich zahlreiche Anhaltspunkte zur Erkenntniss der Stammesgeschichte und der natürlichen Verwandtschaft.

Die vergleichende Anatomie zeigt uns in jedem Thierkreis stufenweise fortschreitende Weiterentwicklung der Organe und daneben auch oft stufenweise Rückbildung. Beispielsweise nenne ich das Gehirn der Wirbelthiere, dessen stufenweise Höherentwicklung vor einigen Jahren auf einer Naturforscherversammlung von Prof. EDINGER dargelegt wurde.[1]) Allbekannt ist auch die stufenweise Entwicklung des Herzens, von dem einkammerigen Fischherzen zu dem unvollkommen getheilten Amphibienherzen, von da zu dem zweikammerigen Reptilienherzen, welches nach der einen Seite zum Vogelherzen, nach der anderen Seite zum Säugethierherzen sich weiter entwickelt hat.

Solcher stufenweisen Weiterbildung steht dann eine stufenweise Rückbildung gegenüber. Man kennt zahlreiche rudimentär gewordene Organe, welche nur allein durch die Descendenztheorie ihre Erklärung finden, und welche gleichzeitig für die Erkenntniss der Stammesentwicklung die sichersten Anhaltspunkte geben.[2]) — Gleichwie man in Deutschland, wenn alle Geschichte verloren wäre, aus vielen politischen Verhältnissen, aus überlieferten Einrichtungen und Sitten mancherlei geschichtliche Thatsachen erschliessen könnte, so finden wir auch bei den Thieren Züge der Organisation, welche nur aus der Vorgeschichte der Arten, so zu sagen aus der historischen Entwicklung zu verstehen sind.

Auch die Entwicklungsgeschichte der Individuen, die Ontogenie, bietet manchen Hinweis auf die Stammesentwicklung, wenn sie auch vielleicht nicht alle Erwartungen befriedigt hat, welche man ihr vor

1) L. EDINGER, Die Entwicklung der Gehirnbahnen in der Thierreihe. Verhandl. der 68. Versammlung D. Naturforscher u. Aerzte. 1896 (auch abgedruckt in Allg. Med. Central-Zeitung 1896, Nr. 79 u. 80).

2) In Betreff der rudimentären Organe beim Menschen (Wurmfortsatz, Epiphyse, Schwanzwirbel u. s. w.) verweise ich auf das Buch von WIEDERSHEIM: Der Bau des Menschen als Zeugniss für seine Vergangenheit. 2. Aufl. Freiburg u. Leipzig 1893.

30 Jahren entgegenbrachte. — Nach dem biogenetischen Grundgesetz ist die Ontogenie eine Wiederholung der Phylogenie (Stammesentwicklung), aber in abgekürzter und abgeänderter Form. Es besteht oft grosse Schwierigkeit, zu entscheiden, ob eine bestimmte Entwicklungsweise ursprünglich oder abgeändert ist, und folglich muss man bei phylogenetischen Schlüssen aus der Embryologie grosse Vorsicht walten lassen. Aber in vielen Fällen zeigt sich die Wiederholung der Stammesentwicklung mit unzweifelhafter Deutlichkeit, und ich will Ihnen dafür zunächst ein Beispiel anführen, die Entwicklung des Herzens der Säugethiere, wie sie von His und von Born durch Plattenmodelle dargestellt wurde.[1])

Zuerst steht das Herz der Säugethiere auf der Stufe des Fischherzens (wie Fig. 2 zeigt), mit Venensinus, einfacher Vorkammer, ein-

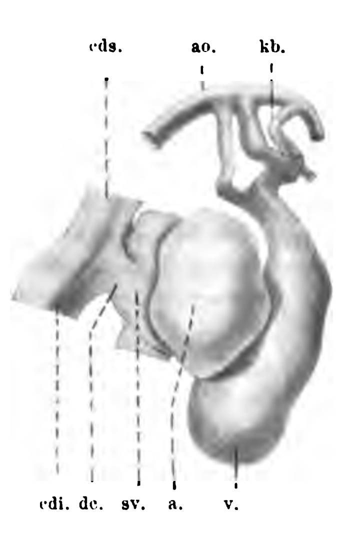


Fig. 2. Herz eines Kaninchenembryos von 3,4 mm Kopflänge (nach einem Plattenmodell von Born). — a Atrium (Vorhof), ao Aortenwurzel, cdi Vena cardinalis inferior, cds Vena cardinalis superior, dc Ductus Cuvieri, kb Kiemenbogen, sv Sinus venosus, v Ventrikel (Herzkammer).

facher Kammer und mit wohlausgebildeten Kiemenbögen. Dann erreicht es die Stufe des Amphibienherzens und besitzt, wie das Froschherz, eine Scheidewand im Vorhof und dabei eine einfache, von zwei seitlichen Kissen begrenzte Atrioventricularöffnung, dann kommt es zu der Stufe des Reptilienherzens und hat, wie das Krokodilherz, nur noch eine kleine Communication zwischen den beiden Herzkammern; endlich wird durch den vollkommenen Abschluss an der Kammerscheidewand und durch die Einbeziehung des Sinus venosus in die rechte Vorkammer der Typus des Säugethierherzens erreicht.

Die Entwicklungsgeschichte der Zähne der Säugethiere hat in den

1) W. His, Anatomie menschlicher Embryonen. 3. Abth. Leipzig 1885. — P. Born, Beiträge zur Entwicklungsgeschichte des Säugethierherzens. Archiv für mikr. Anatomie. Bd. 33. 1889.

letzten Jahren für das biogenetische Grundgesetz prächtige Beispiele ergeben. — Das Schnabelthier besitzt anstatt der Zähne nur eine hornige Platte auf jedem Kiefer; aber bei jungen Thieren findet man in jedem Kiefer jederseits 3 vielhöckerige Backzähne, welche an die Zähne von Microlestes und anderen kleinen Säugern der Jurazeit erinnern. — Die Zahnlücker (Edentata) haben meist nur eine geringe Zahl von Zähnen, aber die Embryonen weisen eine grössere Zahl von Zähnen auf; z. B. besitzt das neungürtelige Gürtelthier (Dasypus novemcinctus) in jedem Kiefer jederseits 8 Backzähne, welche säulenförmig und immerwachsend sind; diesen 8 Backzähnen geht ein Milchgebiss voraus mit 7 Backzähnen, welche echte Wurzelzähne sind; ausserdem werden aber im Milchgebiss einige Schneidezähne angelegt, welche niemals durchbrechen.[1]) Wie könnte man solche gänzlich functionslosen Zahnanlagen anders erklären, denn im Sinne des biogenetischen Grundgesetzes und als Wiederholung einer älteren Stufe?

Der Narwal besitzt im Oberkiefer zwei Stosszähne, von welchen der linke beim Männchen besonders lang wird; dahinter befindet sich noch eine zweite Zahnanlage, welche meist rudimentär ist. Im Unterkiefer sind keine Zähne vorhanden, aber nach Kükenthal besitzt der Embryo auch im Unterkiefer eine Zahnleiste und an derselben eine rudimentär bleibende Zahnanlage.[2]) Es ist also ein naheliegender Schluss, dass die Vorfahren des Narwals auch im Unterkiefer Zähne besassen.

Das schönste Beispiel sind schliesslich die Bartenwale, welche überhaupt keine Zähne mehr besitzen, bei welchen aber im Embryo eine vollständige Zahnreihe in beiden Kiefern vorhanden ist, wie diese nach dem Werke von Kükenthal gezeichnete Figur zeigt. (Fig. 3 S. 238). Die Zähne werden schon vor der Geburt resorbirt, sind also ohne jede Function. Es geht aus der embryonalen Bezahnung der Bartenwale hervor, dass die Vorfahren derselben eine ähnliche Zahnreihe hatten wie die nahe verwandten Delphine. Man kann sogar beweisen, dass jene Vorfahren den Zahnwechsel gehabt haben, denn hinter der obengenannten Zahnreihe, welche das Milchgebiss darstellt, findet man noch eine zweite Reihe von Zahnanlagen, die Zähne der zweiten Dentition, welche ebenfalls rudimentär sind und auch schon vor der Geburt verschwinden.

Nach Allem sehen Sie, hochgeehrte Herren, dass die Abstammungslehre nicht ein vage Hypothese, sondern eine wohlbegründete Theorie

1) C. Roese, Beiträge zur Zahnentwicklung der Edentaten. Anatom. Anz. 7. Bd. 1892, S. 495—512.

2) W. Kükenthal, Untersuchungen an Walthieren. Denkschrift der med.-naturw. Gesellschaft. Jena 1893.

ist, und Sie werden begreifen, warum alle Forscher sich auf diesen Boden stellen.

Nicht so übereinstimmend sind die Ansichten in Betreff der Darwin'schen Selectionslehre. Indem Darwin die bei der künstlichen Züchtung an Hausthieren und Culturpflanzen gemachten Erfahrungen auf die ganze Thier- und Pflanzenwelt anwandte, setzte er an die Stelle des absichtlich auslesenden Züchters die natürliche Auslese im Kampf ums Dasein und die sexuelle Auslese.

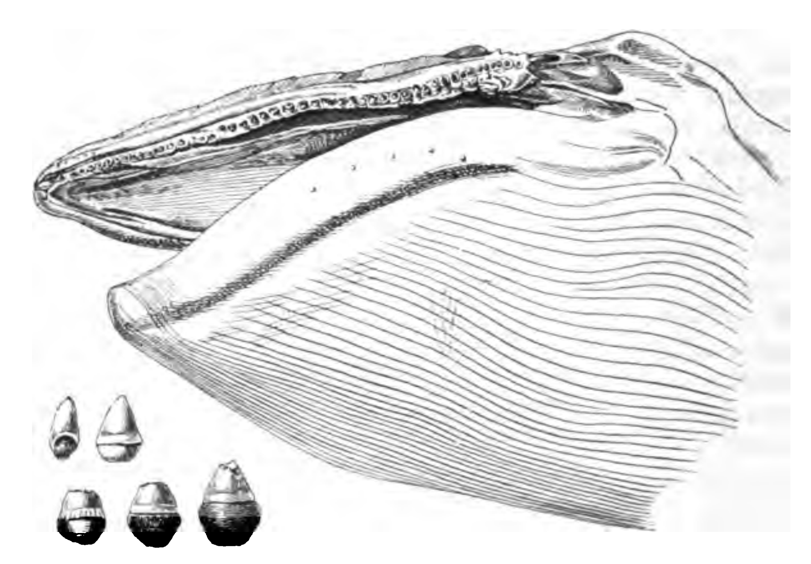


Fig. 3. Kopf eines 123 cm langen Embryos eines Bartenwales (Balaenoptera musculus) mit frei präparirter Zahnreihe des Oberkiefers (verkleinert auf ein Drittel der natürlichen Grösse). Darunter einige Zähne (der 3., 5., 9., 12. und 17. Zahn) aus dem Oberkiefer eines etwas älteren Embryos derselben Species (nach Kükenthal).

Diese Selectionslehre ist der Gegenstand vieler Angriffe geworden. Da Professor Plate vor zwei Jahren dieselben zusammengefasst und kritisch betrachtet hat, will ich nicht wiederholen, was in der Schrift von Plate schon ganz klar gesagt ist [1]); ich will nur betonen, dass fast alle Zoologen eine gewisse Berechtigung des Selectionsprincips anerkennen, dass man aber über die Tragweite desselben verschiedener Meinung ist. — Wenn eine Eigenschaft für das Bestehen der Art von offenbarem Nutzen ist, so kann auch der selective Werth derselben nicht bestritten werden, und es ist nicht zu bezweifeln, dass die in

1) L. Plate, Die Bedeutung und Tragweite des Darwin'schen Selectionsprincipes. Verhandlungen der Deutschen Zoolog. Gesellschaft 1899. Auch separat erschienen Leipzig 1899.

dieser Eigenschaft besser ausgestatteten Individuen eher erhalten bleiben. Ein Raubvogel, welcher kein scharfes Auge hätte, würde Hungers sterben, ein Schneehuhn, welches keine Anpassungsfärbung besässe, würde nicht lange den Blicken seiner Feinde entgehen, eine pelagisch lebende Schnecke, welche nicht durchsichtig wäre, würde den Raubthieren des Meeres von weitem auffallen, ein Bandwurm, welcher keine so enorme Eierzahl hätte, würde bei seinem complicirten Entwicklungsgang bald aussterben.

Bei nützlichen Eigenschaften ist also die Wirkung der Selection augenfällig, aber bei Merkmalen von untergeordneter biologischer Bedeutung braucht keine Selection angenommen zu werden. — Die Flügel der Schmetterlinge zeigen uns zwar in manchen Fällen eine erstaunliche Anpassungsfärbung, aber wenn Jemand alle Verschiedenheiten der Schmetterlingszeichnung aus der natürlichen oder sexuelleu Zuchtwahl erklären wollte, so würde dies wohl ein vergebliches Beginnen sein. — Man kann bei jeder Thierart solche Eigenschaften unterscheiden, welche für das Leben oder die Fortpflanzung des Thieres von grosser Bedeutung sind, und hinsichtlich deren eine strenge Selection stattfindet aber daneben giebt es andere Eigenschaften, welche für das Bestehen der Art ziemlich gleichgültig sind, und welche kaum der Selection unterliegen können. Wenn sich die Lebensbedingungen ändern, so können Eigenschaften ersterer Art in die zweite Abtheilung rücken oder umgekehrt. Der Selectionswerth eines Merkmals kann bei jeder Thierart nur aus dem genauen Studium der Lebensbedingungen beurtheilt werden.

Es kann vorkommen, dass Eigenschaften, welche in ihren ersten Anfängen indifferent sind, von einem gewissen Entwicklungsgrade an als nützlich oder schädlich sich erweisen und somit unter den Einfluss der Selection kommen. Z. B. wird die Zeichnung und Färbung eines Schmetterlingsflügels, wenn sie zufällig mit einem leblosen Objecte einige Aehnlichkeit gewinnt, für die Erhaltung der Art als vortheilhaft sich erweisen und in der betreffenden Richtung weiter gezüchtet werden. — Oder es können einzelne Organe durch Uebernahme einer neuen Function besondere Bedeutung gewinnen und dann unter scharfer Selection weiter gebildet werden. Z. B. dienten die Federn bei den Urformen der Vögel nur dem Wärmeschutz, wie die Haare der Säugethiere, aber sie erlangten eine grosse biologische Bedeutung, als die vordere Extremität als Fallschirm und später als Flügel benutzt wurde.[1])

Ich darf hier auch die manchmal stattfindende Ueberentwicklung nicht unerwähnt lassen. Es kann geschehen, dass Eigenschaften, welche nützlich waren, sich so weiter entwickeln, dass der Nutzen aufgehoben wird, und dass sie schädlich werden und vielleicht sogar den Unter-

1) L. Döderlein, Ueber die Erwerbung des Flugvermögens bei Wirbelthieren. Zoolog. Jahrbücher. Syst. Abth. 14. Bd. 1900.

gang herbeiführen. Wenn ein Thier Hörner oder Stosszähne mit nach vorn stehender Spitze hat, so wird ihm dies bei der Abwehr von Feinden und bei den Kämpfen der Männchen von grossem Nutzen sein; wenn aber die Spitze der Waffe sich so nach hinten krümmt, dass sie beim Stoss gar nicht mehr zur Wirkung kommen kann, wie dies bei den Stosszähnen des Mammuts und bei manchen Hörnern der Fall ist, so kann man diese Weiterentwicklung nicht aus der Selection erklären, sondern man muss mit Doederlein annehmen, dass die Abänderung der Arten in der ursprünglich gezüchteten Richtung über das Maass der Nützlichkeit hinaus selbständig weitergegangen ist.[1])

Es steckt offenbar ein Körnchen Wahrheit in der Lehre von Eimer,[2]) dass die Variationen manchmal aus unbekannten Gründen mit Vorliebe eine bestimmte Richtung einhalten (Orthogenesis Eimer's). Darnach ist es begreiflich, dass, wenn durch die Selection eine besondere Richtung ausgewählt ist, die phyletische Entwicklung in dieser Richtung über die nützliche Stufe hinaus weiter schreiten kann.

Es geht aus dem Gesagten hervor, dass man nicht bei allen Merkmalen der Thiere eine directe oder indirecte Nützlichkeit annehmen kann, und dass nicht alle Eigenschaften auf der natürlichen Zuchtwahl beruhen. — Indem die Selection aber gerade die nützlichen Einrichtungen erklärt, erfüllt sie ihre Aufgabe vollkommen; denn ihre Bedeutung liegt eben darin, dass sie die Zweckmässigkeit der Organisation begreiflich macht.[3]) Mit Recht schrieb Haeckel[4]): „Indem Darwin die Lehre von der natürlichen Züchtung durch den Kampf ums Dasein begründete, entdeckte er nicht nur die wichtigste Ursache der organischen Formenbildung und Umbildung, sondern er beantwortete zugleich endgültig eines der grössten philosophischen Räthsel, die Frage nämlich: Wie können zweckmässige Einrichtungen mechanisch entstehen ohne zweckthätige Ursachen?"

Trotzdem durch die Darwin'sche Selectionslehre die übernatürliche Erklärung der zweckmässigen Organisation überflüssig wurde und die teleologische Auffassung der Natur beseitigt schien, hat eine Reihe

1) L. Döderlein, Phylogenetische Betrachtungen. Biolog. Centralblatt, 7. Bd. 1883, S. 394—401.

2) G. H. Th. Eimer, Die Entstehung der Arten auf Grund von Vererben erworbener Eigenschaften nach den Gesetzen organischen Wachsens. I. Theil. Jena 1888; II. Theil: Orthogenesis der Schmetterlinge, ein Beweis bestimmt gerichteter Entwicklung und Ohnmacht der natürlichen Zuchtwahl bei der Artbildung. Unter Mitwirkung von C. Fickert, Leipzig 1897.

3) Man ist durch die Darwin'sche Selectionslehre noch mehr als vorher auf das Zweckmässige aufmerksam geworden, man hat gelernt, überall auf die Anpassungen zu achten, auf die Beziehungen zwischen der Organisation und der Lebensweise, auf die Schutzmittel und Verbreitungsmittel u. s. w.

4) E. Haeckel, Natürliche Schöpfungsgeschichte. Berlin 1898, 9. Aufl., S. 258.

von Forschern in der allerneuesten Zeit wieder versucht, transcendente Principien in die Naturwissenschaft einzuführen. Diese Autoren, welche man unter der Bezeichnung Neovitalisten zusammenfassen kann, haben theils, wie z. B. Reinke, für alle Lebenserscheinungen überhaupt zweckthätige Kräfte, „dirigirende Kräfte", angenommen, theils, wie z. B. Gustav Wolf und Driesch, nur auf einzelne Vorgänge, insbesondere gewisse Regenerationsvorgänge hingewiesen, bei welchen sie die teleologische Auffassung damit rechtfertigten, dass eine physiologische Erklärung, eine Erklärung aus physikalischen und chemischen Factoren nicht möglich sei.

Allerdings sind die Regenerationsvorgänge zur Zeit noch nicht erklärbar, weil unsere Erkenntniss histologischer Vorgänge überhaupt noch nicht so weit vorgeschritten ist, dass man histogenetische und regenerative Processe causal verstehen könnte. Aber wir dürfen bei zur Zeit unerklärbaren Vorgängen nicht sogleich teleologische Principien einführen, sonst begeben wir uns auf das Gebiet der Metaphysik und des Mysticismus.

Die ganze Geschichte der Naturwissenschaft lehrt, dass auch die dunkelsten Probleme durch emsige Forschung allmählich aufgehellt werden können. Man darf nicht Grenzen der Erkenntniss für alle Zukunft festlegen wollen, wie es die Anhänger transcendenter Lehren so gerne thun.

In der Physiologie der Organismen ist man schon so weit gekommen, dass man die Lebensthätigkeiten der Organismen aus der Thätigkeit der einzelnen Zellen erklären kann. Für die Lebensthätigkeit der einzelnen Zellen kann zur Zeit eine tiefere physiologische Erklärung noch nicht gegeben werden, da ja die chemische Natur der wichtigsten Stoffe der Zelle noch nicht bekannt ist. Wohl aber kann man sich vom Standpunkt der Descendenzlehre und Selectionstheorie einigermaassen begreiflich machen, auf welchem Wege die Zellen mit ihren räthselhaften Lebenserscheinungen entstanden sind. Lange ehe es vielzellige Organismen gab, bestanden die einzelligen; und die einzelligen Wesen in ihrer Vielgestaltigkeit sind selbst wieder das Product einer langen phylogenetischen Entwicklung. Im Laufe derselben kann die Selection in derselben Weise gewirkt haben wie bei höheren Organismen; bedenken Sie, welchen Vortheil es dem Protozoon bot, wenn es sich zur Zeit ungünstiger Lebensverhältnisse einkapseln konnte, oder wenn es sich chemotaktisch nach dem Ort seiner Nahrung begeben konnte, wie dies Amöben und Plasmodien zu thun vermögen! — Die Lebenserscheinungen der einzelnen Zelle, oder die Structur, welche diese Lebenserscheinungen bedingt, beruhen schon auf einer langen Züchtung in einer langen Stammesentwicklung, als deren wichtigste Etappen die Entstehung der amöboiden Bewegung, die Bildung von Kernsubstanz, die Concentration der Kernsubstanz im Kern und die Ausbildung einer

geregelten Theilungsweise gelten können. Eben weil die Zelle mit ihren verschiedenen Lebensthätigkeiten schon das Ergebniss einer phylogenetischen Entwicklung ist, kann man leicht begreifen, dass wir nirgends eine Urzeugung von Zellen sehen.[1]) — Man mag diese phylogenetische Ableitung der Zelle hypothetisch nennen, aber es scheint mir doch besser, dass man für die Entstehung des Lebendigen eine natürliche Erklärung versucht, als dass man für die Lebenserscheinungen wieder den Deus ex machina, die alte Lebenskraft, oder ganz transcendente Kräfte unter neuem Namen als Erklärungen einführt.

Wir gehen nun zu der Vererbungslehre über. — Die Selectionstheorie hat zur Voraussetzung, dass es Variationen giebt, zwischen welchen die Auswahl stattfinden kann. Plötzliche Abänderungen grosser oder kleiner Art werden als Mutationen bezeichnet.[2]) Die Ursachen der Abänderungen sind uns noch dunkel. Da es sich aber um veränderte Vererbung, um Abweichungen von der gleichbleibenden Vererbung handelt, so ist die Erklärung der Variationen und Mutationen von der Erklärung der Vererbung überhaupt abhängig.

Was die Vererbungslehre betrifft, kann man eine empirische und eine theoretische Behandlungsweise unterscheiden. Bei der ersteren, welche wir zunächst ins Auge fassen, beschäftigt man sich mit dem Thatsächlichen, was über die Vererbung bekannt ist, insbesondere mit den Erfahrungen bei künstlicher Zucht von Hausthieren und Culturpflanzen, mit den Ergebnissen bei Bastardirungen und mit sonstigen experimentellen Beobachtungen. Es ist darüber in der Litteratur eine Fülle von Kenntnissen enthalten, über welche nicht mehr gestritten wird.

---

1) Dabei ist freilich die erste Entstehung der organischen Substanz noch unerklärt. Aber wenn die wichtigsten Lebensthätigkeiten der Zelle als allmählich entstanden gedacht werden, so bleiben der Urzelle nur die Functionen der Assimilation, des Wachsens und des Zerfallens in Theilstücke. Die Entstehung einer solchen einfachen Urzelle kann schon beinahe als ein chemisches Problem gedacht werden. Obgleich es merkwürdig klingt, muss man doch annehmen, dass organische Verbindungen früher vorhanden waren als Organismen. Als das erste Wasser auf der sich abkühlenden Erde sich niederschlug, können sich schon organische Verbindungen in demselben gebildet haben (wie z. B. von Calciumcarbid im Wasser Acetylen gebildet wird, aus welchem Benzol und viele andere organische Verbindungen entstehen können). Die Bildung der ersten Organismen (Urzellen) fand wahrscheinlich unter so eigenartigen chemischen und physikalischen Verhältnissen statt, wie sie jetzt nirgends mehr bestehen, und welche man auch schwerlich nachahmen kann.

2) Ich habe im übrigen Verlauf dieses Vortrags zwischen Variationen und Mutationen nicht unterschieden, da mir eine scharfe Trennung nicht möglich scheint. Was jetzt (besonders von Botanikern) als Mutation bezeichnet wird, ist bei Darwin „single variation" genannt und in der Uebersetzung der Darwin'schen Werke „spontane Abänderung" geheissen. — Ich verweise auf den Vortrag des Vorredners, Prof. Hugo de Vries.

Nur über die Vererbunng der im individuellen Leben erworbenen Veränderungen, insbesondere über die Vererbung der Wirkung von Gebrauch und Nichtgebrauch gehen die Ansichten auseinander; jedoch dürfte eine Uebereinstimmung in so fern bestehen, als man seit dem verdienstlichen Vorgehen WEISMANN's die angeblichen Fälle solcher Art kritischer betrachtet, und als die extremen Fälle (insbesondere die Vererbung von Verletzungen) wohl von allen Forschern aufgegeben worden sind.[1]) Allerdings kann die Lehre von der Vererbung erworbener Eigenschaften — wenn man sie annehmen will — die Erklärung mancher Anpassungen sehr erleichtern, aber unerlässlich ist sie nicht, da alle diese Anpassungen auch allein aus der Selection erklärt werden können.[2])

Den nicht ganz geschlichteten Streit über die Vererbung erworbener Eigenschaften können wir also bei Seite lassen, es genügen für die Descendenzlehre schon diejenigen Thatsachen der Vererbung, welche von beiden Parteien zugegeben sind.

Aber denkende Forscher begnügten sich nicht mit den Thatsachen der Vererbung, man suchte nach einer Erklärung für die Vererbung selbst, womit auch eine Erklärung der Variabilität sich verbinden konnte. So entstanden verschiedene Vererbungstheorien. Dieselben stützen sich auf die Thatsachen der Fortpflanzung, insbesondere auf die Lehre von der Befruchtung, welche in den letzten Jahrzehnten zu grosser Genauigkeit ausgebildet wurde. Bei der Befruchtung verschmelzen zwei Zellen, die Eizelle und die Samenzelle, welche zwar verschieden sind, aber doch die gleiche Menge von Chromatin (färbbarer Kernsubstanz) enthalten. Alle erblichen Eigenschaften müssen

1) Da der Begriff der Vererbung erworbener Eigenschaften oft nicht ganz klar gefasst wird, so will ich bemerken, dass darunter, streng genommen, nur solche Fälle zu verstehen sind, bei welchen in Folge äusserer Einflüsse oder in Folge von Gebrauch oder Nichtgebrauch eine erkennbare Veränderung an einem Organe des Vaters oder der Mutter oder beider eingetreten ist und eine ähnliche (aber vielleicht geringere) Veränderung an demselben Organe bei einem Nachkommen als ererbt sich zeigt. Wenn die Veränderung bei den Eltern nicht erkennbar war, oder wenn sie bei den Eltern in anderer Weise (z. B. an einem anderen Organ) hervortrat als bei den Nachkommen, so liegt keine Vererbung einer erworbenen Eigenschaft, sondern nur eine Beeinflussung der Keimesanlage vor.

2) Diese Ansicht hat WEISMANN zuerst ausgesprochen (Ueber die Vererbung, ein Vortrag, Jena 1883) und in der Discussion gegen HERBERT SPENCER vertheidigt (HERBERT SPENCER, The Inadequacy of Natural Selection, in Contemporary Review February—Mai 1893. Auch im Biologischen Centralblatt 1893. — A Rejoinder to Professor WEISMANN, Contemporary Review, December 1893. — Weismanism once more, ebenda November 1894. — A. WEISMANN, Die Allmacht der Naturzüchtung. Eine Erwiderung an HERBERT SPENCER. Jena 1893. — Aeussere Einflüsse als Entwicklungsreize. Jena 1894. — Neue Gedanken zur Vererbungsfrage. Eine Antwort an HERBERT SPENCER, Jena 1895).

also durch Vermittelung der Samenzelle und der Eizelle auf das neue Individuum übertragen werden. Zur genaueren Erklärung dieses geheimnissvollen Vorgangs hat man verschiedene hypothetische Annahmen gemacht, welche zum Theil ziemlich complicirt sind, und auf welche ich hier nicht eingehen kann. Schon Darwin hat eine Lehre dieser Art ausgesprochen, die Pangenesis-Theorie. In neuerer Zeit folgten die Theorie der intracellularen Pangenesis von de Vries und die Idioplasmatheorie von Naegeli, die Gemmarientheorie von Haacke, ferner die Keimplasmatheorie von Weismann, welche wegen ihrer eingehenden Durchführung besondere Bedeutung erlangt und grossen Einfluss ausgeübt hat.[1])

Aber alle diese zum Theil sehr geistreichen Theorien gehören nicht zu dem nothwendigen Rüstzeug der Descendenzlehre. Die Descendenztheorie braucht sich nicht auf dieselben zu stützen[2]), sie kann sich mit derjenigen Kenntniss der Vererbung begnügen, welche auf den Experimenten der Züchter und anderen beobachteten Thatsachen beruht. Der Streit über die hypothetischen Vererbungstheorien berührt die Descendenzlehre nicht.

Ich eile nun zu dem letzten Punkte meiner Darlegung, zu der Anwendung der Descendenztheorie auf den Menschen, also zu der Frage, ob man, wenn das ganze Thierreich und Pflanzenreich auf einer stammesgeschichtlichen Entwicklung beruht, dann auch den Menschen als das Ergebniss einer phyletischen Entwicklungsreihe betrachten muss.

Obgleich die Bejahung dieser Frage als eine einfache Consequenz der ganzen Descendenzlehre erscheint, so wird doch hier gerade der meiste Widerspruch erhoben; derselbe entspringt weniger aus stichhaltigen Verstandesgründen, als vielmehr aus einem Gefühl, aus einem Unbehagen, welches die neue Anschauung erzeugt, die mit so vielen traditionellen Ansichten sich nicht verträgt, und deren Consequenzen man schwer übersehen kann.

Während die Descendenzlehre an sich lediglich mit der traditionellen Schöpfungslehre in Widerspruch kommt, welche ja von allen einigermaassen aufgeklärten Geistern schon lange nur für einen Mythus ge-

1) Hugo de Vries, Intracellulare Pangenesis. Jena 1889.

C. v. Nägeli, Mechanisch-physiologische Theorie der Abstammungslehre. München u. Leipzig 1884.

W. Haacke, Gestaltung und Vererbung. Leipzig 1893.

A. Weismann, Die Continuität des Keimplasma als Grundlage einer Theorie der Vererbung. Jena 1885.

— Das Keimplasma, eine Theorie der Vererbung, Jena 1892.

2) Vergl. den Abschnitt „Vererbungsgesetze und Vererbungstheorien" in Haeckel's Natürlicher Schöpfungsgeschichte. 9. Aufl. 1898, S. 178—206.

halten wurde, tritt bei der Anwendung auf den Menschen der Gegensatz der alten und der neuen Auffassung schärfer hervor, und man scheut zurück vor den psychologischen Consequenzen und noch mehr vor den ethischen und socialen Consequenzen, über welche von interessirter Seite die übertriebensten Meinungen in Umlauf gesetzt werden.[1])

Aber dies darf uns nicht abhalten, die Frage zu prüfen und zu sehen, ob es berechtigte Einwände giebt, welche uns nöthigen, in der Descendenztheorie für den Menschen eine Ausnahme zu machen.

Der häufigste Einwand ist auch der unbedeutendste, nämlich derjenige, dass zwischen dem Menschen und den Primaten keine Uebergangsformen bekannt seien. Denn erstens steht der Mensch den anthropoiden Affen in der körperlichen Organisation so ausserordentlich nahe, dass keine grosse Kluft zu überbrücken ist. Die Unterschiede sind kleiner als diejenigen z. B. zwischen dem Hasen und der Ratte, dem

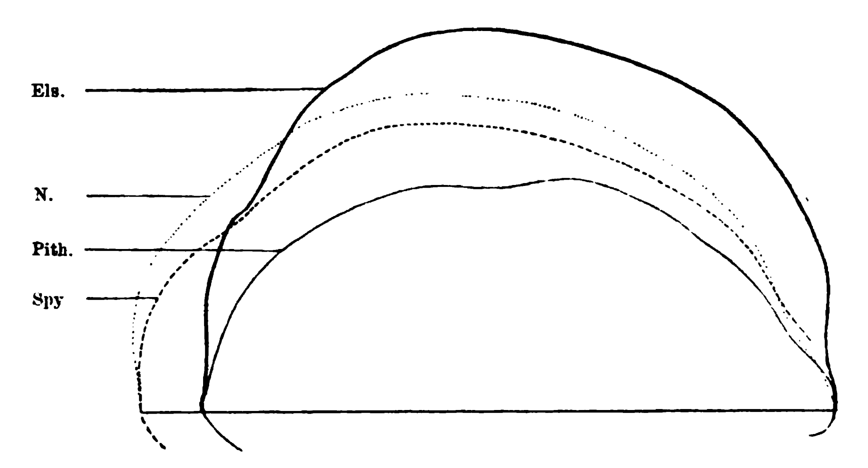


Fig. 4. Profile des Schädeldaches des Pithecanthropus (Pith.), eines Schädels von Spy (Spy), des Neanderthalschädels (N.) und eines recenten brachycephalen Elsässers (Els.); alle in beinahe halber natürlicher Grösse (nach SCHWALBE).

1) Die Descendenzlehre ist in den Kampf der Parteien hineingezogen worden. Ultramontane Abgeordnete haben bei jeder Gelegenheit behauptet, dass die Descendenztheorie zur Socialdemokratie oder auch zum Anarchismus führe. Socialdemokratische Schriftsteller haben dazu Veranlassung gegeben, indem sie sich auf den Darwinismus beriefen. Ich habe in einem besonderen Buche eingehend dargelegt, dass die Theorien der Socialdemokratie mit der Lehre DARWIN's keine Verbindung haben und bei wesentlichen Fragen mit derselben im Widerspruch stehen (H. E. ZIEGLER, Die Naturwissenschaft und die socialdemokratische Theorie. Stuttgart 1894, 252 Seiten).

Rind und der Ziege, oder dem Brüllaffen und dem Schimpanse, deren Verwandtschaft Jedermann anerkennt.

Ferner liegen ja Beweise vor, dass es Uebergangsformen zwischen den Anthropoiden und dem Menschen gegeben hat. Wir haben den Schädel des Neanderthals, die Schädel von Spy und die Hirnschale des Pithecanthropus. Während manche Forscher mit allen möglichen Gründen den Werth dieser Funde herabzusetzen suchten, haben so gründliche und objective Anatomen wie SCHWALBE die phylogenetische Bedeutung derselben anerkannt. Sie sehen hier die Schädelprofile des Pithecanthropus, des Neanderthalschädels, eines Schädels von Spy und eines recenten Menschen (Fig. 4 S. 245). Sie erkennen die stufenweise fortschreitende Erhebung des Schädeldaches, welche von dem noch tiefer stehenden Affenschädel zu dem Schädel der jetzigen Menschen den Uebergang vermittelt.

Freilich stammt der Mensch von keinem der jetzt lebenden Anthropoiden ab, sondern von einer älteren, gemeinsamen Stammform. Das beträchtliche Alter des Menschengeschlechts wird ja schon dadurch bewiesen, dass schon längst eine Trennung in verschiedene Formen erfolgt ist: es sind die durch Hautfarbe und andere Merkmale verschiedenen sog. Rassen, deren Hauptformen man lieber verschiedene Arten nennen sollte. Mit Recht ist gesagt worden: Wenn es Käfer oder Schnecken wären, würde Niemand bezweifeln, dass verschiedene Arten vorliegen.[1]) Die anatomische Einheitlichkeit des Menschengeschlechts ist ein frommer Wunsch. Jedermann muss zugeben, dass das Menschengeschlecht sich in differente Localformen gespalten hat, und damit ist schon ein Theil der Descendenzlehre zugegeben.

Nun muss ich aber noch den hauptsächlichsten Einwand berühren, welcher so oft gegen die Verwandtschaft des Menschen mit der Thierwelt vorgeführt wird, nämlich den Unterschied auf geistigem Gebiet. Nach der traditionellen Psychologie ist dieser Unterschied ganz unüberbrückbar, da dem Menschen im Gegensatz zu den Thieren eine besondere Geistesfähigkeit zugeschrieben wird, die Vernunft. Wenn man aber überlegt, wie sich die Vernunft von dem Verstand unterscheidet, so erkennt man, dass der Begriff der Vernunft auf dogmatischen Vorstellungen beruht und mit den ebenfalls dogmatischen Begriffen der Willensfreiheit und der Unsterblichkeit verknüpft ist. Wer Anhänger dieser alten Psychologie ist und bleibt, der wird in der vorliegenden Frage über den alten Standpunkt nicht hinauskommen.

Aber unabhängig von der herkömmlichen Psychologie und unab-

1) Siehe den Ausspruch von QUENSTEDT, welcher in HAECKEL's Schöpfungsgeschichte (9. Aufl. 1898, S. 738) citirt ist. — Beiläufig will ich bemerken, dass die stattfindende Ueberkreuzung der „Rassen" nicht gegen die Artverschiedenheit angeführt werden kann. Oft können verschiedene Arten gekreuzt werden, und manchmal ergeben sich auch fruchtbare Bastarde.

hängig von den Philosophen, welche fast alle noch in dem alten Fahrwasser segeln, hat sich eine neue Psychologie gebildet, deren Schöpfer die Psychiater, die Physiologen und Zoologen sind. Ich brauche nur die Namen MEYNERT, FLECHSIG, A. FOREL, EDINGER, HITZIG, HERMANN MUNK und GOLTZ zu nennen. Da erscheint das ganze Geistesleben als die Thätigkeit des Gehirns und es lassen sich gewissen Theilen des Gehirns bestimmte Functionen zuweisen. Der experimentellen Gehirnforschung ist die histologische Untersuchung des Gehirns gefolgt, und wie bei allen Organen, so zeigte sich auch hier, dass die Leistung des Organs auf den Vorgängen in den einzelnen Zellen beruht. Die Bahnen in den Zellen (Neuronen) bestimmen den Lauf der Gedanken. Das Instinctive beruht auf ererbten Bahnen, das Erlernte auf individuell erworbenen Bahnen. Lernen bedeutet die Ausschleifung neuer Bahnen, Vergessen bedeutet das Verschwinden älterer Bahnen.[1]) Das Leben der Thiere beruht grösstentheils auf ererbten Bahnen (Instinct), während beim Menschen die erworbenen Bahnen, welche die Grundlage des Gedächtnisses und des Verstandes sind, die grösste Rolle spielen. Aber die Trennung ist keine scharfe, denn einerseits besitzen viele Thiere (insbesondere Vögel und Säugethiere) sicherlich ein Gedächtniss und einen gewissen Grad von Verstand, andererseits kommen instinctive Regungen auch beim Menschen vor in Form von Trieben und Leidenschaften. Beim Kinde im ersten Lebensjahr ist das Instinctive noch vorherrschend; daneben beginnt allmählich die Entwicklung der erworbenen Bahnen und nimmt in den folgenden Jahren immer mehr an Bedeutung zu.

Von diesem Standpunkt aus erscheint der menschliche Verstand dem thierischen Verstand gegenüber als eine höhere Entwicklungsstufe, nicht als etwas Grundverschiedenes. Das höhere Geistesleben des Menschen entspricht dem complicirteren Bau seines Gehirns. Denn die Grosshirnrinde, welche im Stamme der Säugethiere eine immer höhere Ausbildung erreicht, wurde der hauptsächliche Sitz der erworbenen Bahnen und entwickelte sich zu dem Organ des Gedächtnisses und des Verstandes.

Die geistigen Fähigkeiten des Menschen können also nicht als Einwand gegen die Descendenzlehre vorgebracht werden. Wenn der Hirsch

---

1) Die drei letzten Sätze sind vielleicht unter den Naturforschern noch nicht allgemein anerkannt. Ich habe dieselben in früheren Schriften eingehend begründet (H. E. ZIEGLER, Ueber den Begriff des Instincts, Verhandl. der Deutsch. Zoolog. Gesellschaft 1892. — Theoretisches zur Thierpsychologie und vergleichenden Neurophysiologie. Biolog. Centralblatt. 20. Bd. 1900, S. 1—16). — Da in den Ganglienzellen der Wirbelthiere Systeme nervöser Fibrillen nachgewiesen sind (durch MAX SCHULTZE, FLEMMING, BETHE u. A.), ist es naheliegend, diese Fibrillen als die Bahnen des Erregungsvorgangs zu betrachten.

mit dem Reh verwandt sein kann, trotzdem der Hirsch das grosse Geweih hat und das Reh das kleine, so kann auch der Mensch mit den Thieren verwandt sein, trotzdem der Mensch den grossen Verstand hat und das Thier den kleinen.[1])

Aber selbstverständlich ist dieser höhere Verstand für die culturelle Entwicklung des Menschengeschlechts von der grössten Bedeutung gewesen; er hat die Ausbildung der Sprache ermöglicht, die Ueberlieferung der Erfahrung von einer Generation zur anderen und die Entstehung von Sitte und Gesetz. Aus der Sprache ergab sich die Fähigkeit abstracteren Denkens, und aus der Ueberlieferung der Erfahrung folgte die Cultur. Der Verstand hat den Menschen zum Herrn der Erde gemacht.

Der Mensch braucht es also nicht als schändlich zu empfinden, dass die Menschheit in grauer Urzeit auf der Stufe affenähnlicher Wesen stand, er kann es sich mit demselben Recht zur Ehre anrechnen, dass er so zu sagen trotz der Abstammung aus dieser Familie es so weit gebracht hat. Die Descendenzlehre giebt nicht die mindeste Veranlassung, die intellectuell und ethisch hohe Stellung des Menschen irgendwie zu unterschätzen.

Der Adel des Menschengeschlechts liegt nicht in seiner Abstammung begründet, sondern in seiner Höherentwicklung.

Um so mehr sollte der Mensch das echt Menschliche schätzen, was ihn am meisten über die frühere Stufe erhebt. — nicht allein den Fortschritt der Cultur im Ganzen, sondern auch vor Allem das Streben nach Wahrheit, den Sinn für Gerechtigkeit und — was vielleicht das höchste ist — die Humanität.

1) Ich betone dies besonders in Hinsicht auf diejenigen Autoren, welche gerade die Entwicklung des Gehirns und die Höhe des Verstandes des Menschen gegen die Descendenzlehre anführen, wie dies z. B. Johannes Bumüller, ein Schüler des bekannten Anthropologen Ranke, gethan hat (Mensch oder Affe? Ravensburg 1900).

III.

Gemeinschaftliche Sitzung der medicinischen Hauptgruppe.

Donnerstag, den 26. September, Vormittags 9 Uhr.

im grossen Saal des Concerthauses Hamburg.

Den Vorsitz führt der stellvertretende Vorsitzende der medicinischen Hauptgruppe, Herr Professor R. Stintzing-Jena.

Der Vorsitzende eröffnet die Sitzung mit einigen einleitenden Worten, in denen er auf die Bedeutung der zuerst auf der Düsseldorfer Versammlung 1898 abgehaltenen gemeinsamen Sitzung aller medicinischen Abtheilungen als wirksames Mittel gegen die überhandnehmende Specialisirung hinweist.

Er theilt mit, dass der Vorsitzende der medicinischen Hauptgruppe, Herr Professor Naunyn-Strassburg, und der Correferent der heutigen Sitzung, Professor Gruber-Wien, leider am Erscheinen verhindert sind.

Der II. Geschäftsführer, Medicinalrath Reincke theilt mit, dass im heutigen Tageblatt die am Freitag stattfindende Geschäftssitzung aus Versehen auf $^{1}/_{2}8$ statt auf $^{1}/_{2}9$ Uhr angesetzt sei.

Die Direction des Eppendorfer Krankenhauses lade die Damen zur Besichtigung des Krankenhauses auf 2 Uhr ein.

Nunmehr erstattet Herr Geh. Med.-Rath Prof. Dr. P. Ehrlich-Frankfurt a. M. sein Referat.

Die Schutzstoffe des Blutes.

Von

P. Ehrlich-Frankfurt a. M.

Es sind nun mehr als zehn Jahre vergangen, seit durch die Arbeiten der Flügge'schen und der Buchner'schen Schule die allgemeine Aufmerksamkeit auf die im normalen Blutserum vorhandenen baktericiden Stoffe und ihre Beziehungen zu der natürlichen Immunität gelenkt wurde. Insbesondere nahm Buchner an, dass in dem Serum einer jeden Thierspecies ein einheitlicher, bestimmter Schutzstoff, das Alexin, vorhanden sei, welches befähigt ist, fremdartige Zellen, insbesondere Bakterien und die Blutkörperchen anderer Species abzutödten und nach Art eines proteolytischen Fermentes aufzulösen, während es unschädlich für die Zellelemente der eigenen Species ist. Die neuere Entwicklung der Immunitätslehre, welche sich an Behring's Entdeckung der Antitoxine anschloss, hat auch über die Natur der normal präformirten Schutzstoffe so vielfache Aufklärungen gebracht, dass es nun angezeigt ist, die gegenseitigen Beziehungen derselben einer eingehenden Betrachtung zu unterwerfen.

Es kann ja kaum einem Zweifel unterliegen, dass entsprechend dem Grundprincip, welches von Virchow über den Zusammenhang von Zellphysiologie und -Pathologie aufgestellt ist, auch die normalen Schutzstoffe denselben Entstehungsgesetzen folgen werden, welche für die künstlich erzeugten antitoxischen und baktericiden Substanzen gelten. Es versteht sich nun von selbst, dass es bei den künstlich erzeugten Schutzstoffen, insbesondere den Antitoxinen, leichter ist, einen Einblick in den Entstehungsmechanismus zu gewinnen, da man in diesem Fall sowohl das auslösende Agens (wie etwa das betreffende Toxin), als auch das entstehende specifische Product (das specifische Antitoxin) in den Händen hat und die gegenseitigen chemischen Beziehungen beider erforschen kann.

Dies ist aber bei den natürlich vorkommen Substanzen nicht möglich, da man in diesem Falle bei dem complicirten Chemismus des lebenden Organismus über die physiologisch auslösenden Substanzen wohl noch lange im Unklaren sein wird.

Es ist daher kein Zufall, dass es zuerst, von den künstlich erzeugten Schutzsubstanzen ausgehend, gelungen ist, eine Bildungstheorie aufzustellen, welche als Seitenketten- oder Receptorentheorie bekannt ist. Nach meiner Ansicht ist diese Theorie auch für die Auffassung der Alexine von der grössten Bedeutung. Ich werde jedoch an erster Stelle meine bezüglichen Anschauungen an der Hand der Antitoxinbildung erörtern, da diese die relativ einfachste Betrachtung zulässt.

Wie Ihnen bekannt, waren es im Wesentlichen zwei Anschauungen, welche für die Antitoxinbildung in Betracht gezogen werden können, nämlich die hypothetische Metamorphose von Toxin in Antitoxin und die dem Seitenkettenstandpunkt sich nähernde Secretionstheorie. Die erstere Anschauung ging von der Beobachtung aus, dass das durch ein bestimmtes Toxin erzeugte Antitoxin nur gerade gegen dieses eine Gift und gegen kein anderes wirksam ist. Diese specifische Wirkung des Antitoxins ist eine so auffallende Erscheinung, dass man zunächst glaubte, die enge Beziehung des Toxins zum Antitoxin nur dadurch erklären zu können, dass man das Toxin selbst als die Muttersubstanz des Antitoxins ansah. So vertritt z. B. Buchner auch heute noch den Standpunkt, dass die Antitoxine und verwandte Stoffe nicht präformirten oder auch völlig neu gebildeten Bestandtheilen des Organismus entsprechen, sondern ungiftige Umwandlungsproducte der zum Zweck der Immunisirung eingeführten Substanzen darstellen. Die Verwandtschaft des Antikörpers zu der denselben auslösenden Substanz wäre dann auf die Gleichartigkeit der beiden Componenten zu beziehen. Es würde sich nicht um einen Gegensatz handeln, wie zwischen Säure und Basis, sondern um eine Anziehung von Gleichartigem zu Gleichartigem, wie sie etwa in der Polymerisation, in der Krystallisationsausziehung oder im Bau der Stärkekörner verwirklicht ist.

Ich möchte demgegenüber bemerken, dass schon vom rein chemischen Standpunkt aus die Annahme nicht zutreffen kann, weil die als Analoga angeführten Processe in concentrirten Lösungen vor sich gehen, während die Neutralisation von Toxin und Antitoxin in ausserordentlich verdünnten Lösungen erfolgt.

Hauptsächlich sind aber die biologischen Verhältnisse mit der Annahme einer Umbildung von Toxin in Antitoxin ganz unvereinbar. An erster Stelle spricht hiergegen der grosse Mengenunterschied, der zwischen dem eingeführten Toxin und dem resultirenden Antitoxin bestehen kann. Hat doch Knorr gezeigt, dass durch Injection von Tetanusgift beim Pferd eine Menge Antitoxin, welche das 100000fache der verwandten Giftdosis zu neutralisiren vermag, gebildet wird. Es handelt sich hier um eine so grosse Disproportionalität, dass diese aus der Buchner'schen Anschauung, nach welcher ja ein Theil Toxin wiederum ein Antitoxinäquivalent liefern müsste, nicht vereinbar ist. Dieses Ver-

hältniss ist nur durch eine Theorie zu erklären, die der Antikörperbildung eine grössere Unabhängigkeit von der auslösenden Substanz vindicirt.

Unvereinbar mit der Anschauung einer Umbildung des Toxins in Antitoxin ist weiterhin der augenfällige Unterschied, welcher zwischen der sogenanten activen und passiven Immunität besteht. Wenn man nämlich bei einem Thier durch Gifte oder Bakterien active Immunität erzeugt, so kann diese in günstigen Fällen durch Jahre hindurch bestehen, während bei der passiven Immunisirung das fertig eingeführte Antitoxin nur eine recht kurze Existenz im Organismus hat. Ein derartiger Unterschied könnte nicht bestehen, wenn das Antitoxin nichts Anderes als umgewandeltes Toxin wäre; denn in diesem Falle müsste es doch vollkommen gleichgültig sein, auf welche Weise das einmal im Organismus befindliche Antitoxin entstanden ist. Der Unterschied beruht eben darauf, dass bei der activen Immunität die Gewebe des Körpers das Antitoxin — mit der Ausscheidung desselben Schritt haltend — fort und fort neu erzeugen.

Diese Neuerzeugung des Antitoxins durch die Körperzellen wird auch weiterhin erwiesen durch die interessanten Experimente von Roux und Vaillard, ferner von Salomonsen und Madsen, welche ein activ immunisirtes Thier, das einen constanten Antitoxingehalt des Blutes aufwies, binnen Kurzem durch Aderlässe eines beträchtlichen Theils seines Blutes beraubten. Wäre die auf diese Weise entzogene Antitoxinmenge aus dem eingeführten Toxin entsanden gewesen, so hätte jetzt, nachdem ja schon längst die letzte Spur des Giftes aus dem Körper verschwunden war, unfehlbar eine ausserordentliche Verarmung des Blutes an Antitoxin eintreten müssen. Es zeigte sich aber im Gegentheil, dass der Antitoxingehalt des Blutes in kurzer Zeit wieder auf das alte Niveau anstieg. Ebenso spricht für die Erzeugung des Antitoxins durch die Körperzellen ein Experiment von Salomonsen und Madsen, welche zeigten, dass der Antitoxingehalt des Blutes eines activ immunisirten Thieres steigt, wenn man das Thier mit Stoffen behandelt, welche die Secretion der Körperzellen überhaupt steigern, wie z. B. mit Pilokarpin. Die zuletzt angeführten Beobachtungen wurden von Salomonsen und Madsen schon in aller Schärfe der Umwandlungshypothese entgegengehalten und zu Gunsten ihrer Secretionstheorie verwerthet.

Ganz besonders aber wird die Annahme, dass das Antitoxin aus dem Toxin entstände, durch die Thatsache widerlegt, dass auch im Blute normaler Thiere Antitoxine vorkommen können. So findet man im Blute von Pferden Diphtherieantitoxin bei etwa 20—30 Proc. der untersuchten Thiere, trotzdem Diphtherieerkrankungen bei diesen Thieren sicher zu den seltensten Ausnahmen gehören. So enthält ferner das Pferdeserum

Antikörper gegen eines der vom Tetanusbacillus producirten Gifte, das Tetanolysin, nicht aber gegen das Krampfgift desselben Bacillus, das Tetanospasmin, während das künstlich durch Toxin erzeugte Immunserum beide Antikörper enthält.

Gerade diese Beobachtungen, die leicht erweitert werden können, sprechen zur Evidenz dafür, das auch der normale Organismus ohne Vermittelung der betreffenden Bakterienstoffe wirkliche Antitoxine erzeugen kann. und dass diese also nicht Umwandlungsproducte der zugeführten Gifte sein können, sondern schon Producte der normalen Zellthätigkeit sind. Die Erklärung gerade dieser normalen Vorgänge bildet aber einen der Hauptpunkte der Seitenkettentheorie.

Diese Theorie basirt an erster Stelle auf einer eingehenden Analyse der Beziehungen zwischen Toxin und Antitoxin. Nachdem mit Hülfe von Reagensglasversuchen mit Ricin und verwandten Stoffen, welche auf rothe Blutkörperchen einwirken, äusserst wahrscheinlich geworden war, dass sich Toxin und Antitoxin unmittelbar chemisch beeinflussen und zu einer neuen, unschädlichen Verbindung mit einander paaren, galt es, den Vorgang der Neutralisation der beiden Substanzen eingehend nach allen Richtungen zu prüfen. Ich wählte hierzu das Diphtherietoxin und -Antitoxin, weil wir glücklicherweise in dem Meerschweinchenorganismus ein so gleichmässiges Versuchsobject besitzen, dass quantitativ genaue Bestimmungen, wie sie in der Chemie und Physik möglich sind, hier auch im Thierexperiment erreichbar sind. Beträgt doch die Fehlergrenze bei der Diphtherieserum-Titrirung nicht mehr als 1 Proc. — gewiss ein erstaunliches Resultat, wenn wir bedenken, dass es sich hier um Substanzen handelt, die vorläufig chemisch vollkommen unfassbar sind.

Die Resultate, welche ich in den ersten Jahren meiner Untersuchungen erhielt, waren nun geradezu höchst entmuthigend, indem sie der chemischen Auffassung ein unübersteigliches Hemmniss entgegenzusetzen schienen. Entsprechend den Gesetzen der Stöchiometrie müssen wir für chemische Vorgänge die Forderung aufstellen, dass zwei Componenten, welche sich mit einander zu einer dritten Substanz vereinigen, sich in bestimmten äquivalenten Verhältnissen beeinflussen. Dieses Gesetz schien aber bei der Aufeinanderwirkung von Diphtherietoxin und -Antitoxin nicht im Mindesten gewahrt zu sein. Ich bestimmte zunächst für 12 verschiedene Giftbouillons das Quantum, welches durch eine constante Menge Antitoxin, im speciellen Falle die der staatlichen Controle zu Grunde liegende Einheit vollkommen neutralisirt wurde. Die hierbei resultirenden Zahlen waren, wie a priori zu erwarten, sehr wechselnde, indem die 1 IE in dem einen Fall 0,25 ccm, in dem anderen Fall 1,5 ccm der Giftbouillon neutralisirte. Dieses Resultat hat zunächst an und für sich

gar nichts Auffallendes, da bekannt ist, dass je nach der Rasse der Bacillen, nach der Art der Zubereitung der Bouillon etc. die Bakterien wechselnde Mengen ihrer Giftsecrete an die umgebende Flüssigkeit abgeben, so dass starke und schwache Gifte entstehen. Aber man hätte erwarten müssen, dass unter der Voraussetzung, dass Toxinmolecüle sich ausschliesslich nach chemischen Principien mit den Antitoxindosen vereinigen, bei den verschiedenen Giften in dem durch 1 IE neutralisirten Quantum, welches als Lo bezeichnet ward, die gleiche Menge reellen Giftes enthalten sei — oder in anderen Worten, dass die verschiedenen in ihren Lo-Dosen differirenden Gifte nichts Anderes repräsentirten, als mehr oder weniger concentrirte Lösungen des gleichen Giftstoffes. Den Giftgehalt einer Lösung bemisst man nach Gifteinheiten, d. h. nach derjenigen Menge Giftbouillon, welche gerade ausreicht, um ein Meerschweinchen von 250 g in vier Tagen zu tödten. Wenn wir also finden, dass bei einem bestimmten Gift A die durch eine IE neutralisirte Dosis, also die Lo-Dosis 1ccm beträgt, und wenn wir weiterhin feststellen, dass von dem gleichen Gift 0,01 ccm ausreicht, um ein Meerschweinchen zu tödten, so repräsentirt bei diesem Gift die Lo-Dosis 100 Gifteinheiten. Man hätte also entsprechend dem Gesetze der Aequivalenz erwarten müssen, dass Lo der verschiedenen Gifte genau die gleiche Menge Gifteinheiten enthalten müsste. Thatsächlich war abe das Resultat ein geradezu entgegengesetztes, da die in der Lo-Dosis enthaltenen Gifteinheiten in extremen Fällen von 10 in minimo bis 150 in maximo schwanken. Unter der damals bestehenden Annahme, dass nur das Toxin einzig und allein die Antitoxinbindung bedinge, musste diese weitgehende Abweichung von dem Gesetz der Aequivalenz zunächst die Annahme erwecken, dass andere als rein chemische Beziehungen zwischen den beiden entgegengesetzten Substanzen bestünden.

Es gelang erst, in das Dunkel Klarheit zu bringen, als ich die in der Wissenschaft so vielfach bewährte genetische Forschungsmethode auf diese Fragen übertrug und ein und dieselbe Giftbouillon zu verschiedenen Zeiten der vergleichenden Untersuchung unterzog. Es sei mir gestattet, die Resultate an einem einfachen, schematisch gewählten Beispiel klarzulegen. Bei einem soeben frisch hergestellten Gift findet man, dass die durch 1 IE neutralisirte Menge, also die Lo-Dosis, 1 ccm betrage, welche 100 Gifteinheiten enthalte. Untersucht man das gleiche Gift (etwa nach einem halben Jahre), so ergiebt sich genau dieselbe Lo-Dosis, die aber nur die Hälfte der früher vorhandenen, also 50 Gifteinheiten, repräsentirt. Es ergiebt sich also, dass die Giftbouillon genau dieselbe Neutralisationskraft, aber eine schwächere Giftwirkung besitzt. Es müssen also die Giftwirkung auf das Thier und das Bindungsvermögen gegenüber dem Antitoxin zwei verschiedene Functionen darstellen, von denen die erstere constant bleibt, die letztere sich aber vermindert.

Wenn wir diese Verhältnisse vom chemischen Gesichtspunkte aus

betrachten, so lassen sie sich in leichter Weise dadurch erklären, dass in den von den Diphtheriebacillen erzeugten Toxinmolecülen zwei verschiedene Gruppen vorhanden sind, von denen die eine, welche als haptophore Gruppe bezeichnet wird, die Bindung an das Antitoxin bewirkt, während die andere, die wir als die toxophore Gruppe bezeichnen wollen, die eigentliche Ursache der Giftigkeit darstellt. Diese beiden Gruppen sind auch in ihrer Haltbarkeit verschieden, da die toxophore Gruppe eine sehr labile, die haptophore eine weit stabilere ist. Giftmodificationen, in denen nun eine Zerstörung der toxophoren Gruppe bei Erhaltung der haptophoren Gruppe vor sich gegangen ist, und welche daher ihre Giftwirkungen oft vollständig eingebüsst haben, werden als Toxoide bezeichnet.

Durch das Vorhandensein solcher Toxoide sind die scheinbaren Abweichungen vom Gesetze der Aequivalenz, welche sich bei den Sättigungsversuchen mit Toxin und Antitoxin zeigen, vollkommen erklärt, und damit ist auch ein neuer, nach meiner Meinung unwiderleglicher Beweis für die chemische Auffassung des Sättigungsvorgangs erbracht.

Es scheint wenigstens beim Diphtheriegift aus Gründen, deren Erörterung hier zu weit führen würde, dass die Avidität der haptophoren Gruppe des Toxoidmolecüls gegenüber dem Antitoxin genau die gleiche ist, wie die des unveränderten Toxins. Dies spricht dafür, dass die beiden functionirenden Complexe des Toxinmolecüls eine relative Selbständigkeit besitzen. Die Anschauungen über die Constitution des Giftmolecüls, welche ich selbst noch durch verfeinerte Untersuchungsmethoden, wie die partielle Absättigung, zu erweitern versucht habe, haben von verschiedenen Seiten in ihrer thatsächlichen Grundlage eine vollkommene Bestätigung gefunden; ich erwähne hier nur die ausgezeichneten Arbeiten Madsen's über Diphtheriegift und Tetanusgift und die schöne, eben erst publicirte Untersuchung Jacoby's über Ricin und seine Toxoide.

Bei der Unterscheidung der beiden Gruppen des Giftmolecüls handelt es sich nicht nur um eine befriedigende Erklärung des Neutralisationsvorgangs, sondern um weit mehr. Die Anwesenheit dieser Gruppen bietet uns Aufschluss sowohl über das Wesen der Vergiftung, als auch über die Entstehung des Antitoxins.

In letzterer Beziehung sind es insbesondere zwei Thatsachen, welche dafür sprechen, dass die haptophore Gruppe wesentlich an der Immunitätsreaction des Organismus betheiligt ist. Erstens die Beobachtung, dass die der toxophoren Gruppe entbehrenden Toxoide nichts desto weniger die Erzeugung typischer Antitoxine veranlassen, und zweitens dass Toxine, deren haptophore Gruppe durch das Antitoxin präoccupirt ist, durch diesen Eingriff ihre Antitoxin bildende Function vollständig

verlieren. Um nun die ausschlaggebende Rolle der haptophoren Gruppe bei der Bildung der Antitoxine und der Antikörper überhaupt zu verstehen, ist es vor Allem nothwendig, auf die andere Seite der Frage einzugehen, welche die Functionen des lebenden Organismus bei der Antikörperbildung betrifft.

Der Nachweis, dass im Toxinmolecül die haptophore Gruppe es sein muss, welche die Immunitätsauslösung bedingt, drängt eo ipso dahin, die Stoffaufnahme der lebenden Zellen in den Vordergrund dieser Betrachtungen zu stellen. Es ist ja eine allgemeine, schon seit den Anfängen der Medicin herrschende Anschauung, das chemische Stoffe nur auf die Organe wirken können, mit denen sie befähigt sind, in eine nähere chemische Beziehung zu treten. Mit bekannter Klarheit und Schärfe ist dieser Standpunkt von Virchow in seiner Cellularpathologie vertreten worden. In letzterem Werke heisst es: „Gleichwie die einzelne Zelle eines Pilzes oder einer Alge aus der Flüssigkeit, in der sie lebt, so viel und so beschaffenes Material herauszieht, als sie für ihre Lebenszwecke braucht, so hat auch die Gewebszelle inmitten eines zusammengesetzten Organismus elective Fähigkeiten, vermöge welcher sie gewisse Stoffe verschmäht, andere aufnimmt und in sich verwendet.“ Ferner:

„Wir wissen, dass eine Reihe von Substanzen existirt, welche, wenn sie in den Körper gebracht werden, ganz besondere Anziehungen zum Nervenapparat darbieten, ja, dass es innerhalb dieser Reihe wieder Substanzen giebt, welche zu ganz bestimmten Theilen des Nervenapparates nähere Beziehungen haben, einige zum Gehirn, andere zum Rückenmark, zu den sympathischen Ganglien, einzelne wieder zu besonderen Theilen des Gehirns, Rückenmarks u. s. w. Ich erinnere hier an Morphium, Atropin, Worara, Strychnin, Digitalin. Andererseits nehmen wir wahr, dass gewisse Stoffe eine nähere Beziehung haben zu bestimmten Secretionsorganen, dass sie diese Secretionsorgane mit einer gewissen Wahlverwandtschaft durchdringen, dass sie in ihnen abgeschieden werden, und dass bei einer reichlichen Zufuhr solcher Stoffe ein Zustand der Reizung in diesen Organen stattfindet.“

Es ist eine auffällige und beinahe wunderbare Erscheinung, dass dieses Axiom in der Fortbildung der wissenschaftlichen Pharmakologie gar keinen Widerhall gefunden hat, und dass erst die letzten Jahre dank den Arbeiten Hofmeister's, Overton's, Spiro's, Hans Meyer's und auch den meinen hierin eine Aenderung zum Besseren geschaffen haben.

Es kann nach diesen neueren Arbeiten nicht dem mindesten Zweifel unterliegen, dass die Ursachen der electiven Speicherung in bestimmten Zellterritorien nicht einheitlicher Natur sind. Im Allgemeinen wird jetzt von der modernen pharmakologischen Schule angenommen, dass die gewöhnlichen körperfremden Stoffe, wie die indifferenten Narcotica, Alkaloide, Antipyretica, Antiseptica, mit den Körperelementen keine feste

chemische Verbindung eingehen, sondern dass ihre Vertheilung nach den Gesetzen der starren Lösung oder einer lockeren Salzbildung erfolge. Für die Gifte, welche auf das Centralnervensystem wirken, sind es besonders die fettähnlichen Stoffe desselben, die sogenannten Lipoide, welche die Narcotica in sich aufspeichern, wie der Aether die Alkaloide bei dem Stas-Otto'schen Giftermittelungsverfahren. Es spricht eine Reihe von Gründen dafür, dass die hier in Frage kommenden pharmakologischen Agentien ungeändert als solche in den Zellen, resp. in gewissen Bestandtheilen derselben, besonders den fettähnlichen, gespeichert werden.

Natürlich soll die Möglichkeit nicht geleugnet werden, dass gewisse körperfremde Substanzen auch substituirend in das Eiweissmolecül eintreten können. Behandelt man z. B. Protoplasma mit Salpetersäure, so tritt unter Gelbfärbung die Nitrogruppe in den Eiweissrest.

Derartige Substitutionen werden aber für gewöhnlich unter den Verhältnissen, unter denen pharmakologische Wirkungen stattfinden können, nur von Verbindungen ausgelöst werden, die durch eine eminente innere Spannung für solche Additionsreactionen besonders befähigt sind. Solches dürfte der Fall sein bei dem Vinylamin, welches nach den in meinem Laboratorium ausgeführten Untersuchungen Levaditi's bei einer grossen Reihe von Thieren Nekrose der Nierenpapille hervorruft, die wohl auf eine solche chemische Verankerung zu beziehen ist.

Die gewöhnlichen Arzneistoffe sind aber nach ihrem Bau nicht befähigt, solche energischen Wirkungen auszuüben, so dass wir im Allgemeinen annehmen können, dass bei ihrer Vertheilung chemisch-synthetische Processe keine hervorragende Rolle spielen.

Andererseits ist es eine absolut feststehende Thatsache, dass synthetische Processe nach einer anderen Richtung eine hervorragende Bedeutung im Leben der Zelle besitzen. Wenn wir aus Zellmaterialien erst durch Kochen mit Säure bestimmte Gruppen (wie die des Zuckers u. s. w.) abspalten können, so beweist dies eben den chemischen Charakter dieser Bindung. In der That hat der allgemeine Sprachgebrauch längst die beiden hier in Frage kommenden Erscheinungsreihen getrennt und den Namen der Assimilirbarkeit, ausschliesslich für diejenigen Substanzen reservirt, welche synthetisch in den Zellen verankert werden, und welche dann durch diese Verankerung geradezu Bestandtheile des Protoplasmas werden. Es wird ja keinem Menschen einfallen, etwa das Morphium, das Methylenblau, welche in gewisse Zellen eindringen und sich in ihnen speichern, als assimilationsfähig zu bezeichnen.

Es ist aus diesen Darlegungen ersichtlich, dass ich den Begriff der Assimilationsfähigkeit etwas enger fasse, als dies gewöhnlich geschieht, und denselben ausschliesslich für die specifischen Nährstoffe des lebenden Protoplasmas reservire. In diesem Sinne ist der Assimilationsvorgang der Zelle ein synthetischer Vorgang, welcher die Anwesenheit

zweier die Synthese vermittelnden Gruppen zur Voraussetzung hat, die zu einander eine starke chemische Affinität haben.

Ich nehme also dementsprechend an, dass das lebende Protoplasma Seitenketten oder Receptoren besitzt, welche zu bestimmten Gruppen der specifischen Nährstoffe eine maximale chemische Verwandtschaft haben und sie deshalb an die Zelle verankern. Der Receptorenapparat der Zellen ist ein ausserordentlich complicirter, indem z. B. die rothen Blutkörperchen vielleicht hundert verschiedene Receptorentypen enthalten können.

Wenn man diesen Standpunkt acceptirt und sich erinnert, dass beim Toxinmolecül die haptophore Gruppe die Immunitätsauslösung bedingt, so bedarf es nur eines sehr kleinen Schrittes, um in das Wesen der Antitoxinbildung einzudringen — nämlich der gewiss naheliegenden Annahme, dass der haptophore Complex des Toxins vielleicht durch das Spiel des Zufalls unter den verschiedenen Receptoren einen solchen trifft, der zu ihm eine besondere Affinität besitzt. Es ist gar nicht nothwendig, dass jedes beliebige Bakterientoxin bei jeder beliebigen Thierspecies passende, i. e. toxinophile Receptoren vorfinden muss. Ein solcher Mangel an Receptoren stellt vielmehr einen der Gründe dar, welche die Immunität gewisser Thierspecies gegen bestimmte Gifte vermitteln können. Andererseits deutet das gesammte Thatsachenmaterial darauf hin, dass die Empfänglichkeit, die Receptibilität eines Organismus gegen ein bestimmtes Toxin an die Anwesenheit solcher toxinophilen Gruppen des Protoplasmas gebunden ist, was in dem Ausdruck „Receptoren“ einen entsprechenden Ausdruck findet.

Durch die Verankerung des Toxinmolecüls mittels der haptophoren Gruppe wird die Zelle nach zwei verschiedenen Richtungen hin beeinflusst. An erster Stelle wird sie durch den dauernden Einfluss der toxophoren Gruppe in den Zustand der Erkrankung versetzt, welcher sich durch gestörte Function und eventuell pathologisch-anatomische Veränderungen äussert. Ausserdem wird aber nach einem bald näher zu besprechenden Modus ein regenerativer Vorgang eingeleitet, der zur Erzeugung von Antitoxin führen kann. Da der Regenerationsvorgang in gleicher Weise wie durch Toxin auch durch die der toxophoren Gruppe beraubten Toxoide herbeigeführt wird, müssen wir denselben in engere Beziehung mit der haptophoren Gruppe bringen. Es sind also die beiden neben einander laufenden Processe der Antitoxinbildung und der Giftwirkung in so fern von einander unabhängig, als sie von zwei differenten Gruppen ausgelöst werden. In bestem Einklang mit dieser Anschauung steht die Thatsache, dass die beiden Processe einander stören können in so fern, als eine erhebliche Erkrankung den Regenerationsprocess verringern oder gar aufheben kann. Im letzteren Sinne erinnere ich nur daran dass es bei gewissen gegen das Tetanusgift hochempfindlichen kleinen Thieren, wie Mäusen und Meerschweinchen, fast unmöglich ist, durch

unverändertes Gift Antitoxin zu erzeugen, während dies bei Anwendung von Toxoiden leicht und schnell erreicht werden kann.

Was nun den Regenerationsvorgang, welcher zur Bildung von Antitoxin führt, anbetrifft, so hat dieser für den, welcher sich mit den von CARL WEIGERT aufgestellten biologischen Grundprincipien vertraut gemacht hat, nichts Auffallendes. Der Receptor, welcher die haptophore Gruppe des Toxin- und Toxoidmolecüls an sich gefesselt hat, ist durch die Besetzung für die Zelle unbrauchbar geworden, da er seine normale Function, die Anziehung von Nährstoffen, nicht mehr auszuüben vermag. Es ist also ein Defect im Zellleibe eingetreten, der wieder ersetzt werden muss.

Bei solchen Vorgängen ist es, wie durch WEIGERT's Forschungen bekannt ist, etwas sehr Gewöhnliches, dass zunächst nicht ein einfacher Ersatz der zerstörten Gewebselemente stattfindet, sondern ein Ueberschuss in der Neubildung eintritt. So wird auch bei der methodisch durchgeführten Immunisirung unter der fortgesetzten und stets gesteigerten Zuführung der immunisirenden Substanz ein Theil der neugebildeten und an der Zelle noch immer befindlichen Receptoren von Neuem besetzt und in der Folge durch eine über das ursprüngliche Maass hinausgehende Regeneration wieder ersetzt. Das Protoplasma wird durch die gesteigerte Inanspruchnahme in einer bestimmten Richtung gewissermaassen trainirt, einseitig eine bestimmte Art von Bestandtheilen, und zwar die betreffenden Receptoren neu zu produciren. Schliesslich wird ein solches Uebermaas von Receptoren erzeugt, dass dieselben nicht mehr an dem Protoplasma Platz haben, sondern als freie Molecüle abgestossen und in die Körpersäfte übergeführt werden. Das Antitoxin ist also nach dieser Theorie nichts als der abgestossene Receptorenapparat des Protoplasmas, also ein normaler, nur übermässig erzeugter Zellbestandtheil.

Es sei mir gestattet, aus dem reichen, schon jetzt vorliegenden Thatsachenmaterial hier einige Momente zu erörtern, welche als weitere Beweismittel für die Richtigkeit dieser Hypothese, welche als Seitenkettentheorie bekannt ist, dienen können.

Der erste Punkt betrifft den Nachweis der von der Theorie supponirten toxinophilen Receptoren in normalen Geweben. Wenn eine solche Verankerung des Giftes in den Organen schon durch den klinischen Ablauf der Vergiftung und durch die von DÖNITZ angestellten Heilversuche an mit Tetanusgift und Diphtheriegift vergifteten Thieren wahrscheinlich gemacht worden ist, so hat WASSERMANN zuerst den directen Nachweis erbracht, dass auch im Reagensglase gewisse Körperbestandtheile Toxin an sich verankern und nach Art eines Antitoxins unschädlich machen. Versetzte er Tetanusgift mit zerriebenem frischen Meerschweinchengehirn, so verankerte das Gehirn das Gift in der Weise an sich, dass nicht nur die darüberstehende Flüssigkeit entgiftet war,

sondern dass auch das mit Tetanusgift beladene Gehirn keine Giftwirkung mehr ausübte. Man kann daraus entnehmen, dass hier eine chemische Bindung von Bestandtheilen der Ganglienzelle mit dem Tetanusgift stattgefunden hat, die so fest ist, dass sie bei Einführung in den Thierkörper nicht gelöst wird, so dass das Gift unwirksam bleibt.

Dass es sich hier in der That um eine wirkliche specifische Reaction und nicht etwa um Absorption handelt, geht einmal daraus hervor, dass gekochtes Gehirn, in dem die betreffenden Gruppen zerstört sind, diese Wirkung ebensowenig ausübt, wie die Verreibung beliebiger anderer Meerschweinchenorgane.

Von Ransom ist weiterhin der Nachweis erbracht worden, dass auch das Gehirn lebender Thiere die gleiche giftzerstörende Function besitzt. Im Hinblick auf diese Feststellung dürften die Einwände von Danysz, welche sich auf das abweichende Verhalten des zersetzten Gehirnbreis beziehen, keine ausschlaggebende Bedeutung besitzen. Verhehlen will ich nicht, dass das günstige beim Tetanus erhaltene Resultat offenbar nur dem Umstande zuzuschreiben ist, dass zufälligerweise die tetanophilen Receptoren in grosser Menge im Gehirn vorhanden sind. Ein solcher Zufall braucht aber nicht für jedes Gift zuzutreffen. Sind in den giftgefährdeten Organen, z. B. dem Gehirn, nur spärliche Giftreceptoren vorhanden, so werden diese sich bei der immerhin rohen Untersuchungsmethode dem Nachweis entziehen, wie dies z. B. bei dem Botulismusgift und dem Diphtheriegift der Fall ist.

Ein solches verwirrendes Spiel des Zufalls kann man aber mit Sicherheit ausschliessen, wenn man mit künstlich erzeugten Giften arbeitet, die durch ihre Entstehungsart gegen eine ganz bestimmte Zellart gerichtet sind, wie die durch Blutinjection erzeugten mannigfaltigen Hämolysine, die Spermotoxine und die zahlreichen anderen Cytotoxine. In allen diesen Fällen kann man mit absoluter Sicherheit erweisen, dass das betreffende Gift von der giftempfindlichen Zelle stets in specifischer Weise verankert wird.

Ein zweiter Punkt betrifft die Prämisse meiner Theorie, dass dieselben Organe, welche eine specifische Beziehung zu dem Giftmolecül besitzen, gleichzeitig Antitoxin produciren können. In dieser Hinsicht möchte ich besonders die eleganten Versuche von Römer über Abrinimmunisirung anführen. Wie bekannt, ist das Abrin, das Toxalbumin der Jequiritybohne, befähigt, ausserordentlich starke Entzündungen der Conjunctiva bei Thieren und bei Menschen hervorzurufen. Ich habe weiterhin gezeigt, dass es gelingt, durch conjunctivale Instillation Kaninchen activ gegen Abrin zu immunisiren. Römer hat nun ein Kaninchen vom rechten Auge aus mit schnell gesteigerten Dosen immunisirt und das Thier nach drei Wochen getödtet. Es zeigte sich dann, dass die Conjunctiva des rechten Auges, an welchem sich die Entzündungserscheinungen abgespielt hatten, bei der Verreibung mit einer geeigneten

Menge von Abrin die Wirkung desselben fast vollkommen aufhob, während die Verreibung der anderen Conjunctiva mit Abrin das Versuchsthier nicht vor dem Tode schützte. Römer folgert daraus mit Recht, dass bei der conjunctivalen Immunisirung ein Theil des Antitoxins von der local reagirenden Conjunctiva geliefert wird. Ich glaube, dass diese Feststellung der localen Entstehung des Antitoxins am Ort der Injection, abgesehen von ihrem theoretischen Interesse, auch eine grosse praktische Bedeutung hat. Es ist hierdurch in gewissen Fällen die Möglichkeit gegeben, im Laufe der Immunisirung einen Theil der Antitoxinproduction von den lebenswichtigen Organen abzulenken und in das indifferente Bindegewebe zu verlegen.

Ein dritter Punkt betrifft die Abstossung der übermässig producirten Receptoren. Die Voraussetzung einer solchen Abstossung ist, dass die betreffenden Receptoren, die normal fest mit dem Protoplasmamolecül zusammenhängen, eine Lockerung des Verbandes erfahren, die eben die Abstossung ermöglicht. In einigen günstigen Fällen, welche sich allerdings nicht auf lösliche Gifte, sondern auf Immunisirung mit Bakterien beziehen, ist es gelungen, auch dieses Postulat der Theorie durch Experimente zu verificiren. Pfeiffer und Marx gelang der Nachweis, dass es bei einer zweckmässig geleiteten Choleraimmunisirung möglich ist, einen Zeitabschnitt zu treffen, in welchem das Blut noch frei von Schutzstoffen ist, während es gelingt, den blutbildenden Organen durch Verreiben mit Kochsalzlösung die specifischen Schutzstoffe zu entziehen.

Es kann sich hier nach meiner Ansicht nur um eine Herauslösung der kurz vor der Abstossung befindlichen und daher nur locker sitzenden Receptoren handeln.

Etwa gleichzeitig mit Pfeiffer und Marx hat Wassermann beim Typhus genau dieselben Resultate erhalten, wie sie später auch von Deutsch bestätigt wurden. In allen diesen Versuchen stellt das hämatopoëtische System, auf dessen Bedeutung für den Immunisirungsvorgang die Metschnikoff'sche Lehre hinweist, die Bildungsstätte der Antikörper dar.

Diese wenigen Beispiele werden ausreichen, um zu zeigen, dass die Seitenkettentheorie die Probe des Versuchs auf das Beste bestanden hat. Mir selbst ist im Laufe meiner langjährigen experimentellen Thätigkeit keine Thatsache aufgestossen, die mit dieser Theorie in Widerspruch steht und sie zu widerlegen geeignet ist. Ich darf dieselbe daher als wohl fundirt betrachten und einige wichtige Consequenzen, die sich aus ihr ableiten, hier ausführlich erörtern.

Die Seitenkettentheorie erklärt zunächst die specifischen Beziehungen, die zwischen einem Toxin und dem entsprechenden Antitoxin bestehen, in der ungezwungensten Weise. Weiterhin macht die Theorie die immunisirende Wirkung der Antitoxine durchaus verständlich. Die Gifte werden, wenn sie in der üblichen Weise durch subcutane In-

jection den Versuchsthieren zugeführt werden, zu den mit toxinophilen Receptoren ausgestatteten und daher giftgefährdeten Organen durch Vermittelung der Blutbahn geführt. Treffen sie nun schon im Blute freie toxinophile Gruppen, so werden sie sich sofort mit denselben vereinigen und so von den giftgefährdeten Organen abgeleitet werden.

v. Behring hat dieser Hypothese folgenden Ausdruck gegeben: „Dieselbe Substanz im lebenden Körper, welche, in der Zelle gelegen, Voraussetzung und Bedingung einer Vergiftung ist, wird Ursache der Heilung, wenn sie sich in der Blutflüssigkeit befindet."

Es handelt sich hier nach meiner Ansicht um ein allgemeines biologisches Gesetz, welches sich nicht auf die Toxine beschränkt, sondern auf viele, wenn nicht auf alle Giftsubstanzen anwendbar ist. Ich erinnere hier nur an die Solaninvergiftung der rothen Blutkörperchen. Ransom fand einerseits, dass die rothen Blutkörperchen vermittelst ihres Gehaltes an Cholestearin Solanin in sich aufspeichern und so den deletären Wirkungen desselben unterliegen, und andererseits, dass der Schutz, welchen gewisse Serumarten gegenüber der Solaninvergiftung ausüben, auf die identische Ursache, den Cholestearingehalt des betreffenden Serums, zu beziehen ist.

Weiterhin ergiebt ja die Theorie ohne Weiteres, dass die Gewebe eines immunisirten Thieres als solche unter Bedingungen, unter welchen ein Eingreifen des im Serum enthaltenen Antitoxins ausgeschlossen ist, der Einwirkung des Giftes unterliegen. So constatirte Roux, dass tetanusimmune Kaninchen, wenn das Tetanusgift durch intracerebrale Injection direct mit den Hirnzellen in Berührung gebracht wurde, der Vergiftung so schnell wie die normalen Controlthiere unterliegen. Dieses Ergebniss war nach meiner Theorie geradezu nothwendig, da ja die Ganglienzellen immunisirter Thiere einen Ueberschuss von toxinophilen Gruppen enthalten und hierdurch ganz besonders geeignet sind, das sie schädigende Gift zu verankern. Es war ein erheblicher Irrthum von Roux, wenn er glaubte, durch diesen Versuch die Seitenkettentheorie widerlegt zu haben. Roux meinte, dass nach meiner Anschauung in den Gehirnzellen sich Antitoxin angehäuft hätte, und dass daher die immunisirten Thiere nun auch eine locale Hirnimmunität besitzen müssten. Es handelt sich hier um ein Missverständniss des Wortes „Antitoxin". Ebenso wie man nicht eine beliebige Eisenmasse als Blitzableiter bezeichnen kann, sondern diesen Namen nur für solche Eisentheile verwenden wird, die den Blitz von bestimmten Orten ablenken, wird man den Namen Antitoxin nur jenen toxinophilen Gruppen vindiciren, welche als solche im Blute kreisen und so das Gift von den gefährdeten Organen ableiten können. Die in den lebenswichtigen Organen befindlichen toxinophilen Gruppen sind keine Giftableiter, sondern Giftzuleiter.

Weiterhin wird auch durch die Theorie verständlich gemacht, dass

die Fähigkeit, Antitoxine zu erzeugen, nur gewissen Stoffwechselproducten lebender Zellen zukommt. Alle Versuche, mit wohldefinirten toxischen Substanzen, wie Morphin, Strychnin, Saponinen u. s. w., Antikörper zu erzeugen, sind gescheitert.

Wenn wir uns erinnern, dass die Vertheilung dieser Substanzen im Organismus nicht durch chemische Bindung und daher ohne Vermittelung von Receptoren vor sich geht, wird der negative Ausfall dieser Versuche nicht mehr Wunder nehmen. Die Fähigkeit der Antitoxinbildung kommt eben nur solchen Stoffen zu, welche einen Complex besitzen, der mit den der Assimilation dienenden Seitenketten, den Receptoren, sich vereinigen kann. Man muss sich hierbei erinnern, dass die antitoxinauslösenden Gifte insgesammt hochcomplicirte Producte thierischer und pflanzlicher Zellen darstellen, welche sich durch ihre chemischen Eigenschaften am meisten den eigentlichen Eiweisstoffen und den Peptonen nähern. Als ich im Jahre 1897 zuerst durch meine Theorie die Antitoxinbildung und die nährstoffartige Bindung in Connex brachte, war noch nichts davon bekannt, dass auch gewöhnliche Nährstoffe zu einer analogen Leistung befähigt seien. Ich habe es daher als eine erfreuliche Bestätigung meiner Anschauung auffassen dürfen, dass diese aus meiner Hypothese sich ergebende Consequenz innerhalb Jahresfrist eine thatsächliche und mannigfache Bestätigung fand, welche sich zunächst an den Namen Bordet anknüpft.

Injicirt man Versuchsthieren Milch, so gewinnt deren Serum die Eigenschaft, Milch in Flocken auszufällen. Auch diese Ausfällung ist durchaus specifisch, da aus zahlreichen Versuchen hervorgeht, dass das durch Ziegenmilch erzeugte coagulirende Serum nur die Ziegenmilch, nicht aber die Milch anderer Species, z. B. des Menschen oder der Kuh, zu coaguliren vermag.

Aehnlich verhält es sich, wenn man den Thieren andere eiweisshaltige Substanzen, z. B. die Sera verschiedener Species oder Eiereiweiss einführt. Es treten dann im Serum solche als Coaguline bezeichnete, Stoffe auf, welche die betreffende Eiweissart in specifischer Weise ausfällen.

Abweichungen von dem Gesetz der Specifität kommen nur insofern vor, als bei nahestehenden Thierspecies die Serumstoffe mehr oder weniger gleichartig sein können. So fällt das durch Behandlung von Kaninchen mit Menschenserum erhaltene Coagulin nach den Untersuchungen von Uhlenhuth und Wassermann nur das Menschenserum und das Serum der nächststehenden Species, der Affen, so dass diese Reaction zur forensischen Identificirung von Blut in Vorschlag gebracht werden konnte.

Wir sehen also, dass im Sinne meiner Anschauungen auch durch die Einführung von Nährstoffen typische Antikörper gebildet werden, die mit dem auslösenden Nährstoff sich in specifischer Weise ver-

binden. Ein analoger Vorgang spielt sich auch bei den normalen Vorgängen der Zellernährung ab und bildet die Hauptquelle der im normalen Blute in grosser Anzahl vorhandenen Schutzstoffe.

Viel complicirter, als in den bis jetzt geschilderten Fällen, liegen die Verhältnisse, wenn an Stelle der relativ einfachen löslichen Stoffwechselproducte lebendes Bakterienmaterial in Betracht kommt, wie dies bei der Immunisirung gegen Cholera, Typhus, Milzbrand, Schweinerothlauf und viele andere Infectionskrankheiten der Fall ist.

Hier entstehen unter Umständen neben den durch die Giftstoffe der Bakterien erzeugten Antitoxinen mannigfache andere Reactionsproducte. Dies kommt daher, dass jedes Bacterium ja eine hochcomplicirte lebende Zelle ist, die bei ihrer Auflösung im Thierkörper eine grosse Anzahl verschiedenartiger Componenten liefert, von denen eine grosse Anzahl im Stande ist, Antikörper hervorzubringen.

So sehen wir durch die Einführung von Bakterienculturen neben den specifischen Bakteriolysinen, welche eine Auflösung der Bakterien bewirken, Producte entstehen, wie die Coaguline (Kraus, Bordet), d. h. Stoffe, die in specifischer Weise gewisse in die Culturflüssigkeit übergehende Eiweisskörper ausfällen, ferner die in neuerer Zeit so viel besprochenen Agglutinine (Gruber, Durham, Pfeiffer), endlich die Antifermente (v. Dungern, Morgenroth, Briot).

Die interessantesten und wichtigsten bei einer solchen Immunisirung entstehenden Stoffe sind ohne Zweifel die Bakteriolysine, um deren Erforschung sich Pfeiffer und Bordet besondere Verdienste erworben haben. Es ist ja zunächst im höchsten Grade erstaunlich, dass nach der Einführung des Choleravibrio in den Thierkörper eine Substanz gebildet wird, die den Choleravibrio, und nur diesen, aufzulösen im Stande ist. Es handelt sich hier um einen anscheinend so zweckmässigen und neuartigen Vorgang, dass derselbe aus dem Rahmen der dem Körper normal zur Verfügung stehenden Kräfte vollkommen herauszufallen scheint. Es musste von grösster Bedeutung sein, auch die Entstehung dieser Substanzen vom Standpunkt der Cellularphysiologie aus zu erklären. Die Lösung dieses Problems bot recht erhebliche Schwierigkeiten und gelang erst, als man an Stelle der Bakteriolysine die Hämolysine zu den Versuchen verwandte.

Hämolysine sind eigenartige Gifte, welche rothe Blutkörperchen zerstören. Solche Hämolysine kommen theils in bestimmten normalen Serumarten vor, theils können sie in der gleich zu besprechenden Weise künstlich erzeugt werden. In ihren fundamentalen Eigenschaften entsprechen sie vollkommen den Bakteriolysinen, haben aber vor diesen den grossen Vorzug voraus, dass sie in einfacher Weise die Verwendung von Reagensglasversuchen gestatten, welche die Variabilität des Thier-

körpers ausschliessen und daher ein genau quantitatives Arbeiten zulassen.

Von Belfanti und Carbone ist die merkwürdige Thatsache entdeckt worden, dass Pferde, welche mit Blutkörperchen von Kaninchen behandelt sind, in ihrem Serum Stoffe enthalten, welche auf Kaninchen, aber auch nur auf diese, hochtoxisch wirken. Als Ursache dieser Giftigkeit wies Bordet ein specifisches, gerade gegen die Blutkörperchen des Kaninchens gerichtetes Hämolysin nach.

Er wies weiter nach, dass derartige, durch Injection fremder Blutkörperchen erzeugte Hämolysine durch halbstündiges Erwärmen auf 55° ihrer blutlösenden Fähigkeit beraubt werden. Bordet fügte ferner die neue Thatsache hinzu, dass die blutlösende Eigenschaft dieser durch Erwärmen inactivirten Sera wieder hergestellt wird, wenn man gewisse normale Sera zufügt. Durch diese wichtigen Beobachtungen war aber eine vollständige Analogie nachgewiesen mit den Erscheinungen, wie sie für die Bakteriolysine durch Pfeiffer, Metschnikoff und insbesondere Bordet ermittelt waren. Es hatte sich hierbei herausgestellt, dass frisch von einer choleraimmunisirten Ziege gewonnenes Serum die Auflösung der Choleravibrionen — das sogenannte Pfeiffer'sche Phänomen — bedingt. Diese Wirkung verschwindet anscheinend spontan beim Stehen des Serums, schnell aber bei Erwärmen auf 55°. Das durch Erhitzen wirkungslos gemachte Choleraserum übt im Thierversuche unveränderte Schutzkraft und gewinnt auch im Reagensglase die ursprüngliche Lösungskraft durch Zusatz einer kleinen Menge normalen Ziegen- oder Meerschweinchenserums, welche an und für sich die Choleravibrionen nicht schädigen.

Es geht aus diesem Versuche hervor, dass bei der Bakteriolyse zwei Substanzen neben und mit einander wirken, eine im Immunblute enthaltene, relativ beständige Substanz, welche den Träger der specifischen Schutzwirkung darstellt, und welche daher vorläufig als Immunkörper bezeichnet werde, und eine zweite, leicht zerstörbare Substanz, welche in jedem normalen Serum vorkommt und wegen ihrer die Function des Immunkörpers ergänzenden Wirkung als Complement bezeichnet wird.

In Gemeinschaft mit Dr. Morgenroth habe ich nun zunächst bei den für das Experiment unendlich bequemeren Hämolysinen die Frage zu lösen gesucht, wie man sich den Mechanismus der Einwirkung beider Componenten auf das empfindliche Substrat, die rothen Blutkörperchen, vorzustellen habe. Zu diesem Zwecke wurden zunächst Lösungen, die entweder nur den Immunkörper oder nur das Complement enthielten, mit den entsprechenden Blutkörperchen in Berührung gebracht und dann nach der Trennung der Flüssigkeit und der Blutkörperchen durch die Centrifuge untersucht, ob diese Substanzen von den betreffenden Blutkörperchen aufgenommen werden. Dabei stellte sich heraus, dass die

Blutkörperchen nicht befähigt sind, das Complement allein aufzunehmen, dagegen den Immunkörper an sich reissen. Enthält aber das Serum beide Componenten, so werden beide von den betreffenden Blutkörperchen gebunden.

In Bestätigung dieser Thatsache constatirte auch Bordet, dass Blutkörperchen oder Bakterien, welche durch vorgehende Behandlung mit dem Immunkörper beladen sind, nun befähigt sind, aus complementhaltigen Flüssigkeiten dieses mit grosser Begier an sich zu reissen. Aus diesen Thatsachen, welche von vielen Seiten bestätigt sind, ergiebt sich, dass die Blutkörperchen, resp. die Bakterien zwar den Immunkörper, aber nicht das Complement verankern — dass aber nach Verankerung des Immunkörpers auch das Complement gebunden wird.

In Gemeinschaft mit Morgenroth habe ich diese Verhältnisse durch folgende Annahmen über die Constitution des Immunkörpers und des Complementes dem Verständniss näher gebracht.

Wir glaubten dem Immunkörper zweierlei haptophore Gruppen vindiciren zu müssen — eine von grösserer Avidität, welche sich an eine entsprechende Receptorengruppe der rothen Blutscheibe oder der Bakterien lagert, und eine zweite Gruppe von geringerer Avidität, welche das die Zellschädigung bedingende Complement verankert. Es stellt also der Immunkörper gewissermaassen das Zwischenglied, welches Complement und rothe Blutkörperchen an einander fesselt, dar. Um diese Function zu präcisiren, habe ich den Namen Amboceptor vorgeschlagen, welcher die doppelseitig wirkende Fangkraft ausdrücken soll.

Das Complement besitzt nach unserer Auffassung eine Constitution, welche zu der des Toxins in Analogie steht. Es besitzt zunächst eine haptophore Gruppe, welche die specifische Verankerung an den Amboceptor vermittelt, und welche überdies durch die Existenz eines den Antitoxinen entsprechenden Anticomplementes sichergestellt ist. Ausserdem besitzt das Complement noch eine zweite, die Schädigung bedingende Gruppe, welche das Analogon des toxophoren Complexes des Toxins repräsentirt. Im Hinblick auf die theils toxischen, theils fermentähnlich wirkenden Kräfte dieses Complexes habe ich für denselben den Namen des zymotoxischen gewählt. — Wenn man sich das Zusammenwirken von beiden Componenten an einem groben Beispiel klar machen will, kann man zum Vergleich Gewehr und Munition herbeiziehen. Ist doch das Complement an und für sich unschädlich, gleich einer Patrone, welche erst durch die Einführung in die Waffe zerstörende Kraft gewinnt. So wird auch erst durch die ausschliessliche Vermittelung des Amboceptors die schädliche Wirkung des Complements ausgelöst und auf bestimmte Elemente übertragen.

Im Gegensatz zu dieser Auffassung vertritt Bordet den Standpunkt, dass sich nicht — wie wir wollen — Complement und Immunkörper mit einander vereinigen, sondern dass durch den Eintritt des Immun-

körpers in die Zellsubstanz dieselbe eine specifische Schädigung erfährt, die darin zu Tage tritt, dass die Zellen nun dem Einfluss der im Blutserum vorhandenen einheitlichen Schutzsubstanz, des Alexins BUCHNER's, unterliegen. Es werden also die Blutkörperchen durch die Immunsubstanzen so zu sagen für das Alexin empfänglich gemacht oder sensibilisirt. Dem entsprechend bezeichnet BORDET das, was ich als Immunkörper oder Amboceptor bezeichne, als sensibilisirende Substanz und unser Complement als das Alexin.

Ich kann aus vielen Gründen, zumal nach dem von M. NEISSER und F. WECHSBERG gefundenenen eigenartigen Vorgang der Complement-Ablenkung durch überschüssigen Immunkörper dieser auch von BUCHNER acceptirten Anschauung nicht zustimmen. Zunächst ist es ganz unmöglich, sich über das Wesen der Sensibilisation überhaupt eine Vorstellung zu machen. Wenn BORDET meint, der Sensibilisator wirke nach Art eines Sicherheitsschlüssels, welcher, in ein bestimmtes Schloss eingeführt, die Einführung eines zweiten Schlüssels ermögliche, so muss ich sagen, dass mir das Verständniss dieses Vergleiches vollkommen abgeht. Das rothe Blutkörperchen hat, wie sicher zu erweisen ist, keine complementophilen Gruppen, da es weder im normalen Zustande noch nach der Abtödtung Complement an sich reisst. Sowohl das lebende, als auch das durch Erhitzen abgetödtete Blutkörperchen gewinnt aber die Fähigkeit der Complementsverankerung durch die Besetzung mit dem Immunkörper. Da liegt es doch viel näher, daran zu denken, dass eben der Immunkörper, der Amboceptor, von vorn herein die complementbindende Gruppe an sich trägt, als die Annahme zu machen, dass unter dem Einfluss der Sensibilisation neue complementbindende Gruppen entstünden. Schliesslich könnte man sich einen solchen Vorgang bei einer lebenden und daher veränderungsfähigen Zelle noch vorstellen, aber für das todte, mit Hitze und durch allerlei Chemikalien behandelte und so zu sagen stabilisirte Eiweiss ist eine solche Annahme doch ganz unzulässig.

Weiterhin erklärt die BORDET'sche Annahme nicht im Mindesten die Thatsache, dass ein von einer bestimmten Thierspecies stammender Immunkörper am sichersten von dem von der gleichen Species stammenden Serum activirt wird. Es wäre ja ein absolut räthselhafter Vorgang, wie im Sinne der BORDET'schen Theorie der beim Hammel gewonnene Milzbrandimmunkörper den Bacillus gerade gegen das Hammelalexin, der vom Kaninchen gewonnene Schutzstoff gerade gegen das Kaninchenalexin empfindlich machen sollte. Im Sinne der Amboceptorentheorie bietet aber ein solcher Vorgang nicht die geringste Schwierigkeit, da eben die im Blute jeder Thierspecies kreisenden Amboceptoren selbstverständlich auf die eigenen Complemente eingestellt sind.

Ich will hier nur noch einen Punkt erwähnen, welcher in den An-

schauungen Bordet's eine grosse Rolle spielt. Bordet nimmt an, dass das Alexin eine einheitliche Substanz darstellt, während ich eine Vielheit der Complemente vertrete. Jüngst hat nun Bordet sehr interessante Versuche veröffentlicht, welche für diese unitarische Auffassung zu sprechen schienen.

Bordet ermittelte zunächst, dass ein bestimmtes Serum, z. B. Meerschweinchenserum, im Stande sei, zwei verschiedene Immunkörper, z. B. einen Choleraimmunkörper und einen hämolytischen Immunkörper, zu activiren. Nahm Bordet nun das Meerschweinchenserum, versetzte dasselbe mit den sensibilisirten, d. h. complementgierigen und complementempfindlichen Blutkörperchen und wartete den Eintritt der Hämolyse ab, so war hiernach das Meerschweinchenserum der Fähigkeit beraubt, die Auflösung der sensibilisirten Choleravibrionen zu vermitteln. Das gleiche Resultat trat ein, wenn die Reihenfolge umgekehrt wurde.

So leicht es nun war,diesen Versuch eines so ausgezeichneten Experimentators zu bestätigen, so wenig konnte ich mich der Schlussfolgerung Bordet's anschliessen. Beweisend im Sinne der Einheit des Alexins, also der Identität des bakteriolytischen und hämolytischen Alexins ist dieser Versuch doch nur dann, wenn erwiesen ist, dass an den beiden in Action tretenden Immunkörpern nur eine einzige complementophile Gruppe und nicht eine Vielheit derselben wirksam ist. Frühere Untersuchungen hatten aber ergeben, dass die künstlich erzeugten Immunsera nicht einheitlicher Art waren, sondern eine Reihe verschiedener, mit differenten complementophilen Gruppen versehener Amboceptoren enthielten.

Ich habe aber doch die Bordet'schen Versuche für so bedeutsam gehalten, dass ich nochmals eine eingehende Untersuchung der Frage durch die Herren Dr. Sachs und Dr. Morgenroth veranlasst habe. Es gelang diesen Herren, sichere und positve Beweise für die Verschiedenheit der Complemente zu erbringen. So z. B. hat Dr. Sachs die bezüglichen Verhältnisse beim Ziegenserum untersucht. Er wandte zu diesem Behufe fünf verschiedene Immunkörpercombinationen, von denen jede durch Ziegenserum completirungsfähig war, an. War in dem Ziegenserum nur ein einziges Complement vorhanden, so mussten bei Beeinflussung des Complements die fünf Versuchsreihen identisch verlaufen. Im Gegensatz hierzu wurde aber constatirt, dass z. B. unter dem Einfluss der Verdauung eine Completirung vollkommen erhalten blieb, während vier andere Completirungen verschwanden. Auf dem Wege der Absorption ergaben sich weitere anologe Differenzen, welche die Annahme von vier verschiedenen Complementen, die hier in Action traten, sicherstellten. Auf die Beibringung meines anderweitigen Beweismaterials glaube ich hier verzichten zu können, da die erwähnten positiven Befunde die Vielheit der Complemente ganz sicherstellten.

Wenn ich diese Beobahtungen resumire, so finde ich in denselben eine Bestätigung meiner Anschauung, dass die Amboceptorentheorie den Mechanismus der Hämo- und Bakteriolyse in der einfachsten Weise aufhellt.

Was die Entstehung der beiden hieran betheiligten Componenten anbetrifft, so unterliegt es nicht dem mindesten Zweifel, dass dieselben cellularen Ursprungs sein müssen.

Ich nehme an, dass in den Zellen neben den gewöhnlichen Receptoren, welche der Aufnahme relativ einfacher Materialen dienen, noch eine höhere Art Receptoren vorhanden ist, welche dazu bestimmt sind, hochmoleculare Eiweissstoffe, wie sie z. B. der Inhalt lebender Zellen darstellt, an sich zu reissen. In diesem Falle ist aber mit der Fixation eines solchen Molecüls erst eine Vorbedingung für die Zellernährung geschaffen. Ein solches Riesenmolecül ist für die Zellernährung an und für sich unverwendbar und kann derselben erst nutzbar gemacht werden, wenn es durch fermentative Processe in kleinere Bruchstücke zerlegt wird. Dies wird am einfachsten erreicht werden, wenn der Fangarm des Protaplasmas zugleich Träger einer oder verschiedener fermentativer Gruppen ist, die dann sofort in eine nahe räumliche Beziehung zu der zu assimilirenden Beute treten. Es scheint dem Haushalt des Zelllebens am besten zu entsprechen, wenn die benöthigten fermentativen Gruppen nur zeitweise, vielleicht nur im Bedarfsfalle in Action treten. Ein solcher Zweck kann dadurch am einfachsten erreicht werden, dass der Fangarm eine andere haptophore Gruppe enthält, welche die im Serum kreisenden fermentähnlichen Stoffe, wie sie durch die Complemente repräsentirt werden, verankern kann. Es enthält also ein solcher Receptor höherer Ordnung zwei haptophore Gruppen, von denen die eine die Fesselung der Nährstoffe besorgt, während die andere complementophil ist.

Es ist ohne weiteres ersichtlich, dass solche Receptoren zweiter Ordnung, wenn sie im Falle von Immunisirungen ins Blut gelangen, hier die Eigenschaften zeigen müssen, die wir für den Amboceptorentypus festgestellt haben. Der eminent zweckmässige Modus der Bakteriolyse erklärt sich so in der einfachsten Weise als das Widerspiel uralter Protoplasmaweisheit.

Was den zweiten Bestandtheil, die Complemente, anbetrifft, so wird man nicht fehl gehen, wenn man dieselben als einfache, den Zwecken des inneren Stoffwechsels dienende Zellsecrete auffasst, an deren Production vielfach im Sinne Metschnikoff's die Leucocyten an erster Stelle betheiligt sind.

Unter diesen Gesichtspunkten verliert die Immunitätsreaction des Organismus ihr mystisches Ansehen, das man dann annehmen müsste, wenn die künstlich erzeugten Schutzstoffe einen dem Organismus und

dessen physiologischem Haushalt ursprünglich fremden Bestandtheil darstellten.

Aber wir haben gesehen, und ich stimme hier zu meiner Freude mit einem so hervorragenden Forscher wie Metschnikoff vollkommen überein, dass die Immunität nichts Anderes darstellt, als ein Capitel der allgemeinen Ernährungsphysiologie. Vorgänge, die denen der Antikörperbildung vollkommen analog sind, spielen sich im Haushalt des normalen Stoffwechsels fort und fort ab; in allen möglichen Zellen des Organismus kann die Aufnahme von Nährstoffen, resp. Producten des intermediären Stoffwechsels Neubildung, resp. Abstossung von Receptoren veranlassen. Bei der grossen Anzahl der Organe und dem mannigfaltigen Chemismus ihrer Zellen darf es daher nicht Wunder nehmen, dass das Blutplasma — gleichsam als Repräsentant aller Gewebe — von einer Unzahl solcher abgestossenen Receptoren erfüllt ist, welche ich unter dem Namen der Haptine zusammenfassend bezeichne. Dank der neugewonnenen theoretischen Einsicht sind wir überhaupt erst in den letzten Jahren in die Lage versetzt, wenigstens den ersten Blick in diese grosse Mannigfaltigkeit zu werfen.

Ausser den eigentlichen Fermenten und den schon erwähnten fermentähnlich wirkenden Complementen finden wir normalerweise im Blut eine Reihe von Stoffen, welche gegen bestimmte in Lösung befindliche Substanzen in specifischer Weise wirksam sind.

An erster Stelle erwähne ich hier die normalen Antitoxine, als deren Vertreter ich hier nur das Diphtherieantitoxin und das Antitetanolysin des normalen Pferdeserums, das Antistaphylotoxin des normalen Menschenserums und das Anticrotin des Schweineserums anführen will. Ihnen schliessen sich die Antifermente, wie Antilab, Antithrombase, Anticynarase und andere, an. Desgleichen finden wir nomalerweise schon Stoffe, welche die Wirkung der specifischen Hämo- und Bakteriolysine aufheben, indem sie sich bald gegen den Amboceptor, bald gegen das Complement richten. So habe ich im Ziegenblut einen Antiamboceptor nachgewiesen, welcher gegen ein nach dem Bordet'schen Verfahren gewonnenes Ziegenbluthämolysin gerichtet war, während P. Müller in Graz im Blut einer Thierspecies Antikörper vorfand, welche gewissen Complementen anderer Thiere entgegengerichtet waren und daher als normale Anticomplemente zu bezeichnen sind.

Noch interessanter sind aber diejenigen Haptine, welche sich gegen lebende Zellen der verschiedensten Art wenden, und zwar sowohl gegen pflanzliche, wie die Bakterien, als auch gegen thierische, wie die rothen Blutkörperchen, Leukocyten, Spermatozoen, Epithelien und andere. Die zellfeindlichen Haptine zerfallen ihrerseits in zwei Hauptgruppen: erstens die Agglutinine, welche die betreffenden Bakterien oder Zellen zur Verklebung bringen, und welche dank den Arbeiten von Gruber Durham

und Widal eine so grosse diagnostische Bedeutung gewonnen haben, und zweitens die baktericiden, resp. cytotoxischen Substanzen, welche mit der natürlichen Immunität in engerer Beziehung stehen. Man bezeichnet diese Substanzen für den Fall, dass mit der Abtödtung auch ein Lösungsprocess verbunden ist, als Lysine, und spricht also von Hämolysinen, Bakteriolysinen u. s. w. Es übt also ein bestimmtes Blutserum, z. B. das Serum des Hundes, gleichzeitig und neben einander die erwähnten antitoxischen, antifermentativen, agglutinirenden, bakteriolytischen und cytotoxischen Wirkungen gegenüber den geeigneten Substanzen aus. Betrachten wir eine dieser Functionen, z. B. das Agglutinationsvermögen eines bestimmten Serums, gesondert, so wird zunächst die Frage zu entscheiden sein, ob diese Function einer einheitlichen Substanz, also dem Agglutinin zukommt. Vielfache Versuche haben erwiesen, dass dem nicht so ist, sondern dass bei dem Fällungsvorgang genau so viele verschiedene Agglutinine mitwirken, als verschiedene agglutinationsfähige Materialien in dem betreffenden Fall vorliegen. Der Nachweis dieser Vielfältigkeit gelingt leicht nach dem von mir gefundenen Princip der specifischen Verankerung.

Sei z. B. ein gewisses Serum im Stande, zwei Arten von Blutkörperchen, etwa die des Kaninchens und der Taube, und zwei Arten Bakterien, wie Choleravibrionen und Typhusbacillen, zur Verklumpung zu bringen, so müsste unter der Voraussetzung, dass ein einheitliches Agglutinin diesen vierfachen Effect bedinge, es möglich sein, durch Absorption mit einem der Elemente, z. B. mit Choleravibrionen, auch die drei anderen Wirkungen aufzuheben. Thatsächlich ist das Verhalten aber so, dass das mit Choleravibrionen geschüttelte Serum zwar nicht mehr die Choleravibrionen, wohl aber noch die drei anderen Gebilde der Agglutination zuführt und umgekehrt. Es treten also in dem genannten Falle vier verschiedene Agglutinine in Action.

Ganz analoge Resultate ergeben sich, wenn man die anderen Functionsgruppen des Blutes, z. B. die antitoxische, bakteriolytische u. s. w., in entsprechender Weise untersucht. Alle diese Thatsachen sprechen für die von mir zuerst vertretene plurimistische Anschauung, nach der in jedem Blutserum viele Hunderte, vielleicht Tausende wirkungskräftiger Haptine vorhanden sind. Diese Substanzen verdanken — vielleicht nur mit Ausnahme der Fermente und der Complemente — ihre Entstehung einem Uebermaass des assimilatorischen Stoffwechsels, und ihre eigenartige Wirkung auf gewisse körperfremde Substanzen einem so zu sagen zufälligen Zusammentreffen. Sie sind also, wenigstens zum grössten Theil, nur als Luxusproducte aufzufassen, die als solche von keiner bedeutsamen Function für das Leben des Organismus sind. Was soll es dem Thier, was dem Menschen frommen, dass in ihrem Blute die verschiedensten Stoffe kreisen, welche gegen ganz heterogene Materialien

gerichtet sind, die unter normalen Verhältnissen gar nicht in Frage kommen, und welche höchstens die Willkür des Experimentators mit diesen in Beziehung bringt? Was nutzt es einer Ziege, dass in ihrem Blute Stoffe vorhanden sind, die gegen die rothen Blutkörperchen, gegen die Spermatozoen anderer Thiere gerichtet sind, da diese normalerweise niemals in die Blutbahn eindringen? Es ist weiterhin eine jedem Experimentator stets von Neuem aufstossende Thatsache, dass das Blutserum in den meisten seiner Haptine einem ständigen Wechsel unterworfen ist, welcher der Annahme widerspricht, dass die Gesammtheit dieser Stoffe in freiem Zustande eine bedeutungsvolle oder gar nothwendige Rolle im Organismus spiele.

Dass sich bei dem Uebermaass der vorhandenen Combinationen in jedem Serum auch Substanzen vorfinden, die an und für sich oder im Verein mit Complementen eindringende Schädlinge, insbesondere Bakterien, zu vernichten vermögen, und welche deshalb im Sinne von Vertheidigungsmitteln wirken, soll und kann von mir natürlich nicht geleugnet werden. Aber ich halte es trotzdem nicht für richtig, gestützt auf solche Ausnahmen, das so unendlich complicirte Haptinsystem unter dem Namen des Alexins zu subsumiren, da hierdurch eine falsche unitarische Vorstellung erweckt wird, welche dem Fortschritt der Wissenschaft nicht dienen kann. Ich möchte durch diese Bemerkung nicht die ausserordentlichen Verdienste Buchner's herabsetzen; seine Alexinarbeit muss, im Lichte ihrer Zeit und nach dem damaligen Stande der Wissenschaft beurtheilt, als ein Meisterwerk angesehen werden, das die Entwicklung unserer Wissenschaft in hervorragendem Maasse gefördert hat.

Eine weitere Meinungsdifferenz, die zwischen Buchner und mir besteht, betrifft die dem normalen Blutserum zukommende baktericide oder hämolytische Kraft, die Buchner wiederum auf Wirkung seines einheitlich gedachten Alexins bezieht. Ich habe demgegenüber nachgewiesen, dass die Verhältnisse der normalen Hämolyse genau die gleichen sind wie bei der künstlichen, indem auch hier zwei verschiedene Componenten, deren eine wärmebeständig ist, deren andere dem Complement entspricht, gleichzeitig zusammenwirken müssen. Die Thatsache ist von einer grossen Zahl von Beobachtern, unter denen ich v. Dungern, Moxter, London, P. Müller, Meltzer erwähnen möchte, vollinhaltlich bestätigt worden. Alle diese Autoren sind, wie ich, zu der Ueberzeugung gelangt, dass die wärmebeständige, für den Lösungsvorgang nothwendige Substanz nach jeder Richtung den künstlich erzeugten Immunkörpern oder Amboceptoren entspricht. Natürlich vorkommende und immunisatorisch erzeugte Hämolysine entfalten ihre Wirkung genau nach dem gleichen Mechanismus. Nach den Beobachtungen von Pfeiffer, Moxter sowie noch zu publicirenden Versuchen von Wechsberg und M. Neisser gilt das Gleiche auch für die baktericiden Substanzen.

Demgegenüber vertritt Buchner, welcher natürlich in einer Reihe

von Fällen das grobe Thatsachenmaterial bestätigte, die Meinung, dass die thermostabilen Stoffe der normalen Sera keine Analoga der Immunkörper sind, sondern etwas Besonderes darstellen. Er belegt sie demgemäss mit dem besonderen Namen der „Hülfskörper". Abgesehen davon, dass eine solche Trennung unserer auf VIRCHOW's Schulung beruhenden Anschauungsweise über den Zusammhang von Physiologischem und Pathologischem widerspricht, finde ich BUCHNER's Beweisführung für die Sonderheit der Hülfskörper unzureichend. Dieselbe ist eine vollkommen negative und besteht darin, dass nach BUCHNER der Nachweis nicht erbracht wäre, dass jedesmal bei der normalen Hämolyse ein Hülfskörper in Action treten muss. Ich habe dem gegenüber zu betonen, dass bei einer sehr grossen Zahl von Einzelfällen normaler Hämolyse, welche ich und meine Mitarbeiter im Laufe von Jahren untersucht haben, es stets gelang — manchmal allerdings nach sehr langer Arbeit und dem Durchprobiren aller möglichen Complementquellen —, den auslösenden Amboceptor ausfindig zu machen. Experimente, bei welchen, wie in den letzthin von BUCHNER publicirten, aus der grossen Zahl von möglichen Combinationen nur eine beliebig gewählte zur Verwendung kam, sprechen bei negativem Ausfall nicht gegen die Anwesenheit von Amboceptoren, da von keinem Fachmanne angenommen wird, dass jeder beliebige Amboceptor in jedem beliebigen Serum ein Complement finden müsse. Der Nachweis, dass Hämolyse allein durch das Alexin vermittelt werden kann, ist von BUCHNER also nicht erbracht.

Im Anschluss hieran möchte ich an die Thatsache erinnern, dass die im normalen Serum vorhandene Alexin- oder Complementwirkung nicht einem einzigen Stoff, sondern einer Vielheit von Substanzen ihre Entstehung verdankt. Jedes Complement ist an und für sich unschädlich, da erst durch die Vermittelung des Amboceptors die schädliche Wirkung auf bestimmte Gewebe übertragen wird —, dann aber auch gleichmässig auf eigene wie auf fremde. Es ist ein überraschendes Schauspiel, zu sehen, wie Meerschweinchen - Blutkörperchen, die mit gewissen Amboceptoren beladen oder sensibilisirt sind, sich sofort auflösen, wenn man das eigene Serum, welches dann also wie ein tödtliches Gift wirkt, hinzufügt. Es steht also auch die Rolle der Complemente als Fremdenpolizei auf mehr als schwanken Füssen. Dieselbe wird nur durch den von mir als „Horror autotoxicus" bezeichneten Mechanismus vorgetäuscht, welcher verhindert, dass im Organismus Amboceptoren entstehen, welche gegen die eigenen Gewebe gerichtet sind.

Bei diesem Horror autotoxicus handelt es sich um einen zweckmässigen Regulationsvorgang, auf den ich vielleicht noch mit einigen Worten eingehen darf. Aus den Untersuchungen zahlreicher Autoren weiss man, dass man durch Injection von beliebigem fremdartigen Zellmaterial bei Thieren cytotoxische Substanzen erzeugen kann, welche

gerade gegen das zur Immunisirung dienende Material gerichtet sind. Immunisirt man z. B. einen Hund mit einer Emulsion von Gänsegehirn, so wirkt das Serum des Hundes nun höchst toxisch auf Gänse, indem es dieselben unter cerebralen Erscheinungen tödtet. In gleicher Weise kann man beliebige Gifte hervorrufen, Hepatotoxine, Nephrotoxine u. s. w., von denen also jedes nur für ein bestimmtes Organ einer bestimmten Species wirkt. In der menschlichen Pathologie kommt aber nicht die Resorption fremder, sondern der eigenen Körperbestandtheile in Betracht, die unter vielfachen Umständen eintreten kann, wie bei Höhlenblutungen, bei der Resorption von Lymphdrüsentumoren, bei dem febrilen Schwund der Körperparenchyme. Es wäre in höchstem Grade dysteleologisch, wenn unter diesen Umständen sich Eigengifte der Parenchyme, Autotoxine, bilden würden. Ich habe diese Fragen dadurch zu entscheiden versucht, dass ich Ziegen mit dem Blute anderer Ziegen immunisirte. Das Serum der so behandelten Thiere löste nicht die eigenen Blutkörperchen auf, wohl aber diejenigen von anderen Ziegen; es enthielt also kein Autotoxin, sondern ein Isotoxin — entsprechend dem Gesetz, welches ich als das des „Horror autotoxicus" bezeichne.

Ich vermuthe, dass die Isotoxine vielleicht eine grosse Rolle in der Diagnostik und Pathologie spielen werden. Metschnikoff fand, dass sich in dem Blutserum von Hunden, bei denen er eine Chromnephritis erzeugt hatte, ein Isonephrotoxin entwickelt hatte, da dieses Serum, normalen Hunden injicirt, eine Nephritis hervorrief. Es ist mehr als wahrscheinlich — von verschiedenen Autoren, wie Landsteiner, Ascoli, für das Blut schon mit Sicherheit erwiesen —, dass auch bei Menschen sich die verschiedensten Isotoxine bilden.

Beim Menschen können wir freilich mit Ausnahme der rothen Blutkörperchen keine Untersuchungen betreffend die Isotoxine der Parenchyme anstellen, aber es sprechen viele Momente dafür, dass es möglich sein wird, diese Versuche beim Affen durchzuführen und so eine neue Basis für die Pathologie und Therapie auch beim Menschen zu gewinnen.

Aus der unendlich grossen Zahl von Verbindungen, welche im Blutserum vorhanden sind und den in stetem Wechsel befindlichen Haptinapparat darstellen, sind es besonders die Stoffe vom Typus der Amboceptoren, welche zu den Vorgängen der natürlichen Immunität in engsten Beziehungen stehen, da sie im Verein mit den Complementen die Abtödtung der schädlichen Bakterien bedingen. Wenn also ein Verlust der natürlichen Immunität eintritt, so wird es sich zunächst darum handeln, ob Mangel an Complement oder Amboceptor vorliegt.

Ich bin der Ueberzeugung, dass diese Haptinstudien eine neue und bedeutungsvolle Richtung der biologischen Forschung und der Erkenntniss des Assimilationsvorganges eröffnen, weit wichtiger dürften sie

aber noch für die Klinik werden. Da ich selbst nicht in der Lage bin, derartige Untersuchungen an einem grösseren Krankenmaterial durchzuführen, habe ich es für meine Pflicht gehalten, die Gesichtspunkte klarzulegen und so die Basis für die Bearbeitung eines Gebietes zu schaffen, dessen Bedeutung für die Pathologie und Therapie vielleicht erst nach Jahren voll gewürdigt werden wird.

Der Vorsitzende, Prof. Stintzing, spricht dem Referenten den Dank der Versammlung aus und eröffnet die Discussion.

Discussion.

Herr Leopold Kürt-Wien weist darauf hin, dass gerade in der Chemotaxis eine wichtige Schutzmaassregel des Organismus gelegen sein dürfte, die für den praktischen Arzt von grossem Interesse ist. Die Mundhöhle ist wohl das Organ, welches als Haupteinbruchspforte für zahlreiche und verschiedene Krankheitskeime zu betrachten ist. Vor nicht langer Zeit wurde die positive Chemotaxis des Speichels nachgewiesen. Diese Erscheinung dürfte ein sehr wichtiges natürliches Schutzmittel gegen verschiedene Infectionskrankheiten in sich enthalten. Vortragender hat auf Grund von an sich selbst angestellten Beobachtungen seit fünf Jahren eine Therapie gegen Diphtherie und Scharlach mit Erfolg durchgeführt. Das Wesentliche derselben beruht in der Begünstigung einer möglichst frühen, ausgiebigen und Tag und Nacht anhaltenden Speichelsecretion. Diese Therapie möchte er als eine natürliche Schutzmitteltherapie bezeichnen. Schliesslich giebt er dem Wunsche Ausdruck, dass er dadurch die Anregung zur weiteren Ausbildung einer Schutzmitteltherapie gegeben haben möge.

Druck von August Pries in Leipzig.

